



**ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR
DE ALGECIRAS. UNIVERSIDAD DE
CÁDIZ**

MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

**GESTIÓN Y DISEÑO DE UNA RED DE
SENSORES INÁLMBRICA PARA LA
PREDICCIÓN A CORTO PLAZO DE LA
PRODUCCIÓN DE UNA PLANTA DE
GENERACIÓN FOTOVOLTAICA**

MANUEL JESÚS ESPINOSA GAVIRA

TUTOR: AGUSTÍN AGÜERA PÉREZ

Algeciras, septiembre de 2018

1. ÍNDICE

Índice de contenidos

1. ÍNDICE	0
2. MEMORIA	6
2.1. GENERALIDADES	7
2.2. CONTENIDO	7
2.2.1. <i>Objeto</i>	7
2.2.2. <i>Alcance</i>	8
2.2.3. <i>Antecedentes</i>	9
2.2.3.1. Instalaciones	11
2.2.4. <i>Normas y referencias</i>	11
2.2.4.1. Disposiciones legales y normas aplicadas	11
2.2.4.2. Programas de desarrollo	13
2.2.4.3. Plan de gestión de la calidad aplicado durante la redacción del Proyecto	13
2.2.4.4. Bibliografía	13
2.2.5. <i>Definiciones y abreviaturas</i>	14
2.2.6. <i>Requisitos de diseño</i>	15
2.2.7. <i>Análisis de soluciones</i>	16
2.2.7.1. Tecnología de comunicación de la red	16
2.2.7.1.1. Arquitectura de la red	18
2.2.7.2. Elección de Sensores	19
2.2.7.3. Elección de alimentación de los módulos.	19
2.2.7.4. Lectura y adquisición de datos en el ordenador de control	19
2.2.7.5. Interfaz gráfica	20
2.2.8. <i>Resultados finales</i>	21
2.2.8.1. Descripción general	21
2.2.8.2. ZigBee	21
2.2.8.2.1. ¿Qué es?	21
2.2.8.2.2. ¿Cómo funciona?	22
2.2.8.2.3. Dispositivos ZigBee y red ZigBee	23
2.2.8.2.4. Topologías admisibles en una red ZigBee	23
2.2.8.3. XBee	24
2.2.8.3.1. ¿Qué es?	24
2.2.8.3.2. Configuración específica la red	25
2.2.8.3.3. Software de programación de los módulos	27
2.2.8.3.4. Modo AT y modo API	27
2.2.8.3.4.1. Modo AT	27
2.2.8.3.4.2. Modo API	28
2.2.8.3.4.3. Elección de modo de operación	28
2.2.8.3.5. Configuración de los dispositivos XBee	28
2.2.8.3.5.1. Coordinador	31
2.2.8.3.5.2. Routers	32
2.2.8.3.6. Configuración de la red ZigBee	33
2.2.8.3.7. Configuración del direccionamiento	35
2.2.8.3.8. Especificaciones de la interfaz de radiofrecuencia	38
2.2.8.3.9. Especificaciones de interfaz serie de los módulos	39
2.2.8.3.10. Especificaciones del modo de ahorro de energía	40
2.2.8.3.11. Estrategia de adquisición de datos	41
2.2.8.3.12. Configuración para la adquisición de datos	42
2.2.8.4. Lectura y adquisición de datos en el ordenador de control	44
2.2.8.4.1. Formato del frame de los dispositivos XBee	44
2.2.8.4.1.1. ZigBee Receive Packet	44
2.2.8.4.1.2. ZigBee IO Data Sample Rx Indicator	46
2.2.8.4.2. Configuración y montaje de los sensores	47

2.2.8.4.2.1.	Sensor de Luz. SFH5711	47
2.2.8.4.2.2.	Sensor de temperatura. NTC	48
2.2.8.4.3.	Lectura del puerto serie.....	51
2.2.8.4.3.1.	Script principal	51
2.2.8.4.3.2.	Script auxiliar de decodificación del frame	53
2.2.8.4.4.	Gestión de las lecturas de los sensores	54
2.2.8.5.	Uso y configuración del script para la adquisición de datos	55
2.2.8.5.1.	Mediante MATLAB.....	55
2.2.8.5.2.	Mediante el ejecutable generado.....	55
2.2.8.6.	Interfaz gráfica	55
2.2.8.7.	Acondicionamiento de señal del piranómetro.....	57
2.2.8.8.	Nodos. Hardware y montaje	59
2.2.8.9.	Autonomía de los nodos con baterías.....	62
2.2.8.10.	Calibración	64
2.2.8.10.1.	Calibración del piranómetro.	64
2.2.8.10.2.	Calibración de las motas	65
2.2.8.11.	Tiempos de respuesta y gestión del mismo	68
2.2.8.12.	Breve introducción al <i>cloud enhancement</i>	69
2.2.8.13.	Solución de problemas presentados durante el desarrollo.	69
2.2.8.13.1.	Gestión del búffer	69
2.2.8.13.2.	Ralentización de procesamiento	70
2.2.8.13.3.	Reinserción de las motas en la red.....	71
2.2.8.13.4.	Reemplazar o reinsertar un coordinador.....	72
2.2.8.13.5.	Forzar una subtopología concreta.	73
2.2.8.13.6.	El coordinador no encuentra los nodos	74
2.2.8.13.7.	La red presenta un histograma de recepción muy disperso	74
2.2.8.13.8.	Las mediciones de los sensores no tienen apenas precisión	75
2.2.8.13.9.	“Route Record Indicator” en la ventana de comandos.....	75
2.2.8.13.10.	El piranómetro presenta unas medidas erróneas.....	76
2.2.9.	<i>Aportaciones científicas</i>	77
2.2.9.1.	Datos de identificación del investigador	77
2.2.9.2.	Producción y actividad científica del investigador	78
2.2.9.2.1.	Publicaciones en Revistas	78
2.2.9.2.2.	Becas y Reconocimientos	79
2.2.9.2.3.	Aportaciones a Congresos, etc.	79
2.2.9.2.4.	Propiedad Industrial e Intelectual.....	80
2.2.9.2.5.	Proyectos I+D+i y Ayudas.....	81
2.2.10.	<i>Planificación</i>	81
2.2.11.	<i>Orden de prioridad entre documentos</i>	86
3.	ANEXOS.....	87
3.1.	GENERALIDADES	88
3.2.	CÁLCULOS	88
3.2.1.	<i>Cálculo de la resistencia del NTC en función de la temperatura</i>	88
3.2.2.	<i>Cálculo del divisor de tensión del termistor</i>	90
3.2.3.	<i>Sección del conductor</i>	92
3.3.	SCRIPTS DE GESTIÓN	93
3.3.1.	<i>Dependencia de los Scripts de adquisición</i>	93
3.3.2.	<i>Código fuente de los scripts</i>	94
3.4.	BREVE GUÍA PARA EL USO DE LA APLICACIÓN GRÁFICA DE USUARIO.....	94
3.4.1.	<i>Acción: Network Discovery</i>	96
3.4.2.	<i>Acción: Set sampling time</i>	96
3.4.3.	<i>Acción: Set Unicast TimeOut</i>	97
3.4.4.	<i>Acción: Comienzo de la adquisición de datos</i>	98
3.4.5.	<i>Acción: Online Irradiance Fiel</i>	98
3.4.6.	<i>Acción: Network Performance</i>	100

3.4.7.	Acción: Flow Vision.....	102
3.5.	DISEÑO DE LA PCB EN 3D	103
3.6.	DATASHEETS	106
3.6.1.	Regulador Lineal (LDO) MCP1702 versión de 3.3V y 5V.....	106
3.6.2.	Gestor de carga de baterías de litio MCP73811/2	111
3.6.3.	Regulador de tensión OKI-78SR.....	119
3.6.4.	Panel Solar Policristalino de 5Wp de RS-Components	123
3.6.5.	Termistor NTC ND03N00103K.....	126
3.6.6.	Fototransistor SFH 5711.....	129
3.6.7.	MOSFET Canal N DMN3024LK3	136
3.6.8.	AD623. Amplificador de instrumentación para el piranómetro.....	140
3.6.9.	Piranómetro CMP11. Piranómetro Secondary Standard.....	150
3.6.10.	XBee de Digi.....	152
3.7.	CÓDIGO FUENTE	157
3.7.1.	MainGUI	157
3.7.2.	MainScript.....	166
3.7.3.	Handle_Serial	169
3.7.4.	Handle Samples.....	170
3.7.5.	extractFrameData	171
3.7.6.	RemoteATFrameGenerator	176
3.7.7.	Spatial Time Representation	178
3.7.8.	ReprTemp.....	179
3.7.9.	Calibracion	181
3.7.10.	ADC2BAT	184
3.7.11.	ADC2SFH.....	184
3.7.12.	ADC2PIR.....	185
3.7.13.	Resto de scripts.....	185
4.	PLANOS	186
5.	PLIEGO DE CONDICIONES	196
5.1.	CONDICIONES GENERALES.....	197
5.2.	CONCEPTOS COMPRENDIDOS	197
5.3.	INTERPRETACIÓN DEL PROYECTO	200
5.4.	MODIFICACIONES AL PROYECTO	200
5.5.	INSPECCIONES	201
5.6.	CALIDADES	201
5.7.	REGLAMENTACIÓN DE OBLIGADO CUMPLIMIENTO	202
5.8.	DOCUMENTACIÓN GRÁFICA	203
5.9.	DOCUMENTACIÓN FINAL DEL PROYECTO	203
5.10.	GARANTÍAS.....	204
5.11.	SEGURIDAD Y PREVENCIÓN	204
6.	PRESUPUESTO	205
6.1.	PRESUPUESTO GENERAL	206
6.1.1.	Desglose de un nodo de red:.....	206

Índice de figuras

Figura 1. Interfaz Gráfica de usuario.....	20
Figura 2. Topologías admisibles en una red ZigBee	24
Figura 3. Comportamiento de la red en diferentes configuraciones.....	26
Figura 4. Ventana principal del software XCTU	29
Figura 5. Botón añadir dispositivos en el software XCTU	29
Figura 6. Menú 'Añadir dispositivo de radio' en XCTU.....	30
Figura 7. Gestión de un dispositivo en XCTU	30
Figura 8. Botón de actualización de firmware en el software XCTU.....	31
Figura 9. Selección del firmware Coordinador API en XCTU	32
Figura 10. Selección del firmware Router API en el software XCTU	33
Figura 11. Captura de pantalla de la configuración de red en XCTU	35
Figura 12. Configuración de direccionamiento en XCTU (Coordinador).....	37
Figura 13. Configuración de direccionamiento en XCTU (Router)	38
Figura 14. Configuración de la interfaz de RF en XCTU.....	39
Figura 15. Configuración de la interfaz serie en XCTU	40
Figura 16. Configuración del modo de bajo consumo en XCTU.....	41
Figura 17. Configuración de las entradas y salidas en XCTU.....	43
Figura 18. Configuración del muestreo automático en XCTU	44
Figura 19. Curva Intensidad vs luxes del sensor SFH 5711	48
Figura 20. Curva de resistencia frente a temperatura del ND03N00103K desde -5°C a 50°C	50
Figura 21. Topología recomendada para el sensor de temperatura	50
Figura 22. Piranómetro CMP11 de Kipp & Zonen empleado como instrumento de calibración	57
Figura 23. Diagrama electrónico del nodo de calibración	58
Figura 24. Respuesta del acondicionador de señal del piranómetro.....	59
Figura 25. Panel de PCB recibido desde producción.....	60
Figura 26. Módulo XBee S2, PCB de sensores y PCB principal, de izquierda a derecha.	60
Figura 27. Aspecto físico de un nodo de medición con la caja abierta.....	61
Figura 28. PCB de sensores.	61
Figura 29. Aspecto físico de un nodo de medición	62
Figura 30. Análisis de consumo energético de un nodo para determinar su autonomía.....	63
Figura 31. Configuración de la primera prueba experimental para verificar el método de calibración.....	65
Figura 32. Muestra de datos del piranómetro empleadas para la calibración	66
Figura 33. Irradiancia estimada frente a Irradiancia del piranómetro (arriba). Distribución de errores de la irradiancia estimada (abajo).....	67
Figura 34. Irradiancia estimada frente a Irradiancia del piranómetro (arriba). Distribución de errores de la irradiancia estimada (abajo).....	67
Figura 35. Efectos de los tiempos de respuesta.....	68
Figura 36. Evolución del tiempo de procesamiento a lo largo del tiempo de la adquisición	70
Figura 37. Pruebas de rendimiento de red bajo diversas condiciones	73
Figura 38. Distribución de errores típica para un nodo de medición	75

Figura 39. Circuito de medición y amplificador de instrumentación para el piranómetro	76
Figura 40. Respuesta del amplificador de instrumentación diseñado para el piranómetro	77
Figura 41. Diagrama de Gantt	85
Figura 42. Gráfico de resistencia frente a temperatura del NTC seleccionado	90
Figura 43. Topología empleada para el sensor de temperatura.....	91
Figura 44. Dependencia de los Scripts de gestión	93
Figura 45. Interfaz gráfica principal	95
Figura 46. Sección de control y configuración de la interfaz de usuario	95
Figura 47. Ubicación del botón “Network Discovery” en la interfaz de usuario	96
Figura 48. Ubicación del botón Set sampling time en la interfaz gráfica.....	97
Figura 49. Ubicación del botón Set Unicast TimeOut en la interfaz gráfica	97
Figura 50. Ubicación del botón Acquire en la interfaz gráfica	98
Figura 51. Ubicación del botón “Irradiance field”	98
Figura 52. Visualización online del campo de irradiancia	99
Figura 53. Evolución del campo de irradiancia durante los últimos 60 segundos.....	100
Figura 54. Ubicación del botón “Network Performance”	101
Figura 55. Pruebas de rendimiento de la red.....	101
Figura 56. Ubicación del botón “Flow Vision”	102
Figura 57. Diseño delantero de la PCB principal	103
Figura 58. Diseño trasero de la PCB principal	104
Figura 59. Diseño delantero de la PCB de sensores.....	104
Figura 60. Diseño trasero de la PCB de sensores	105
Figura 61. Modelo 3D delantero de ambas PCB unidas	105
Figura 62. Diseño 3D trasero de ambas PCB unidas	106
Figura 63. Representación temporal de los datos mediante ReprTemp	181

Índice de tablas

Tabla 1. Análisis de alternativas de RF	17
Tabla 2. Formato ZigBee del frame de paquete recibido.....	45
Tabla 3. Formato del frame de muestreo	46
Tabla 4. Parámetros imprescindibles para reinsertar un nodo	71
Tabla 5. Parámetros a leer de un nodo de la red.....	72
Tabla 6. Parámetros imprescindibles para reemplazar un coordinador.....	73
Tabla 7. Tabla de tareas del diagrama de Gantt	84
Tabla 8. Especificaciones NTC ND03N00103K	88

2. MEMORIA

2.1. Generalidades

La predicción solar a muy corto plazo está ganando interés por sus aplicaciones en el control a tiempo real de los sistemas de generación mediante energía solar y a la nueva tendencia de las microgrids. A pesar de que es aplicable a todos los sistemas de generación solar, nos centraremos exclusivamente en el sistema de generación fotovoltaico, puesto que el modelo dinámico es mucho mas simple. Los sistemas de generación mediante energía solar, están íntimamente ligados a la energía recibida por los elementos generadores, que a su vez es proporcional a la radiación recibida.

Los modelos predictivos a corto plazo deben ser apoyados con información actualizada del campo de irradiancia local, por lo que las redes de sensores se posicionan como el método mas directo de obtener estos datos.

La solución tomada en este proyecto tendrá en cuenta el coste económico, ya que el propósito de este documento es facilitar información para la construcción de un sistema completo, asequible, de fácil uso, robusto, seguro, funcional y fácilmente adaptable a cualquier infraestructura en la que se desee instalar este sistema.

2.2. Contenido

2.2.1. Objeto

Este proyecto tiene como finalidad el desarrollo de redes de sensores para la monitorización solar, adaptada a sistemas de pequeña escala como las microgrids. Para cubrir estas necesidades se precisa cumplir con unos requisitos muy específicos: alta frecuencia de refresco, alta densidad de puntos de medición, bajo coste y capaz de proveer la información en tiempo real. Este proyecto propone una red de sensores inalámbrica capaz de proveer instantáneas del campo de radiación con una tasa de actualización de 2 Hz.

Como se pretende reducir los costes, la radiación solar será estimada mediante el nivel de luz ambiental, calibrado con un piranómetro de referencia. En este caso, como se dispone de un piranómetro secondary standard se usará este como patrón de calibración, pero otros piranómetros de menor coste pueden ser igualmente usados.

La red de sensores desarrolla para este proyecto compromete 16 sensores distribuidos sobre un área de 15 m x 15 m, en forma de matriz de 4x4, con distancia mínima intersensor de 5 m). Aunque solo se hayan usado 16 sensores, que es lo que estimo como mínimo indispensable para la funcionalidad de este proyecto, puede ser ampliada a tantos sensores como se desee.

Esta red de sensores se situaría alrededor de un sistema de generación fotovoltaico a fin de poder tomar estrategias anticipadas sobre la gestión de los paneles, el inversor y el punto de máxima potencia.

2.2.2. Alcance

Este proyecto contiene toda la información necesaria para poder replicar el diseño de la red y la gestión desarrollada para la misma:

- **Elección de la arquitectura y tecnología.** Se escogerá la tecnología más adecuada en función de criterios técnicos y económicos, y que se adecue a las especificaciones del proyecto.
- **Selección del tipo de sensores.** Será en función de: tipo de tecnología, arquitectura empleada en los módulos de comunicación, disponibilidad física y coste económico.
- **Configuración íntegra de la red.** Elección de la topología, distribución espacial de la misma y configuración de cada dispositivo.
- **Información técnica de los dispositivos.** Se incluirá la información técnica más relevante de los dispositivos finalmente elegidos.
- **Información sobre la interfaz de usuario de la red.** Opciones básicas y manual breve de funcionamiento detallado.

- **Estrategia de adquisición de datos de la red de sensores.** Así como todas las especificaciones y configuraciones necesarias para que el sistema funcione.
- **Diagramas de conexión de los sensores a los módulos usados.** Así como una pequeña referencia para el ajuste de diversos sensores y que se adapten al hardware empleado.
- **Presupuesto de materiales, dispositivos y mano de obra.** Se incluirá un presupuesto incluyendo materiales, dispositivos, mano de obra y coste del proyecto.
- **Diseño de la PCB** para el montaje de los módulos con los sensores.
- **Ensamblaje de los nodos de la red.**
- **Pruebas de funcionamiento y de viabilidad**

2.2.3. Antecedentes

Las redes de sensores se están consolidando como prometedoras fuentes de datos para las aplicaciones futuras de predicción de energía solar, particularmente para aplicaciones locales y predicciones de muy corto plazo, donde la principal fuente de de las variaciones de irradiancia es el movimiento de las nubes. A fin de resolver este problema, se han empleados diversos métodos como el empleo de cámaras all-sky e imágenes satélites, además se ha demostrado que el empleo de estos es complejo e impreciso debido al proceso de conversión imagen-a-irradiancia, por lo que las redes de sensores están ganando más atención como solución a la captura del campo de irradiancia local y su evolución. (Yang, History and trends in solar irradiance and PV power forecasting: A preliminary assessment and review using text mining., 2018)

Esta tendencia se refuerza por la reciente proliferación de los sensores meteorológicos y solares, y sus desarrollos en aplicaciones de big-data para la gestión inteligente basada en información compartida entre múltiples sistemas. En este sentido Zhou *et al.* Apuntan a las microgrids (MGs) como importantes fuentes emergentes de mediciones solares y los principales binificarios de la predicción solar derivada de las técnicas de big-data (Zhou, 2016).

Además, las microgrids se consideran los elementos claves en la integración del sistema de producción energético desde que son eficientes mitigando los efectos negativos asociados con

la generación fotovoltaica intermitente. Sin embargo, Mazzola *et al.* Indican que en sistemas pequeños como las MGs “el coste del servicio de predicción mas otras infraestructuras de automatización podrían no estar económicamente justificada” (Mazzola, 2016)

Hasta el momento, se han empleado redes de sensores en diferentes estudios, pero generalmente en escalas más grandes que las asociadas a las MGs. En la mayoría de los estudios realizados, se involucran una serie de sensores aleatoriamente distribuidos sobre un área, normalmente sobre una ciudad, y posteriormente se recogen esos datos para estimar la variación solar del área o predecir la irradiancia en un punto concreto. Por ejemplo, (Gutierrez-Corea, 2016) usa una red neuronal artificial para predecir la irradiancia en una estación objetivo, analizando datos de 30 estaciones en un radio de 100 km y con una resolución espectral de 15 minutos. Otro ejemplo es (Lorenzo, 2015), que usó 13 sensores solares distribuidos en un área de 20 km x 40 km usando métodos de persistencia para predecir la irradiancia. Los sensores empleados usan piranómetros y fotodiodos que dan una resolución de 1 segundo con una latencia de 1 minuto. Otro trabajo interesante es el de (Yang, On adding and removing sensors in a solar irradiance monitoring network for areal forecasting and PV system performance evaluation., 2017) que cubre un área similar, pero en este caso emplea 24 estaciones más homogéneamente distribuida que provee datos con una resolución de un minuto. Por todo ello, parte de este proyecto se centra en el diseño óptimo de una red de sensores solar, que es un tema raramente tratado en la literatura de la investigación solar.

Las pequeñas escalas de las MG requieren de redes de sensores solares con características diferente a las descritas anteriormente. El principal problema está asociado a las variaciones drásticas de generación fotovoltaica (PV) producida por las nubes, las cuales tienen menos impacto en sistemas de generación más grandes como resultado del bien conocido efecto de suavizado espacial (Basak, 2012). En este sentido (Lohmann, 2016) explica como los sistemas más pequeños requieren de una mayor resolución espacio-temporal, por otro lado (Scolari, 2016) apunta que los sistemas de gestión energética de las MGs deberían ser beneficiados por la información solar en el rango inferior al segundo. Teniendo en cuenta la resolución espacial en (Jamaly, 2018), se ha demostrado que la captación precisa de las nubes requieren 625 puntos de medición sobre un área de 2.5 km x 2.5 km y una resolución temporal de 10 s. En este sentido, se puede esperar que los sistemas más pequeños requieran una mayor densidad de puntos.

Una red de sensores recientemente empleada con este fin es la de la Plataforma Solar de Almería, que compromete 20 piranómetros distribuidos sobre una superficie de 350 m x 280 m midiendo a 1 Hz. El diseño de esta red y su utilización está enfocada a la detección del movimiento de las nubes está descrito en el artículo (Schenk, 2015). Como se comentará durante el desarrollo de este documento, este estudio evalúa la inclusión de luxómetros en la red de monitorización de irradiancia diseñada, como forma de reducir los costes en instrumentos.

Este proyecto trata con el diseño y las pruebas de una red de sensores solar adaptada a las MGs o sistemas PV de pequeña escala. La red podría soportar aplicaciones de predicción a corto plazo y ofrecer medidas en el rango inferior al segundo.

2.2.3.1. Instalaciones

Este proyecto ha sido desarrollado y puesto a prueba en la azotea la Escuela Politécnica Superior de Algeciras, ya que es el centro donde se ha desarrollado gran parte de este proyecto, pero pretende ser instalado en instalaciones solares como la de San José del Valle (Cádiz)

2.2.4. Normas y referencias

En este apartado se verán las normas y programas utilizados a la hora de elaborar el proyecto, así como la bibliografía.

2.2.4.1. Disposiciones legales y normas aplicadas

Las normas utilizadas para la realización del presente proyecto son:

- **Norma UNE 157001.** Criterios generales para la elaboración formal de los documentos que constituyen un proyecto técnico.

- **Norma UNE 50132.** Numeración de las divisiones y subdivisiones en los documentos escritos.
- **Norma UNE-EN ISO 9431.** Dibujos de construcción. Espacios para dibujo y texto, cuadros de rotulación en formatos de dibujo.
- **Norma UNE-EN 50272-1.** Requisitos de seguridad para las baterías e instalaciones de baterías. Parte 1: Información general de seguridad.
- **Norma UNE-EN 50272-4.** Requisitos de seguridad para las baterías e instalaciones de baterías. Parte 4: Baterías para uso en aparatos portátiles.
- **Norma UNE-EN 50385.** Norma de producto para demostrar la conformidad de las estaciones base de radio y radio y estaciones terminales fijas para sistemas de telecomunicación inalámbricos con las restricciones básicas o los niveles de referencia relativos a la exposición humana a campos electromagnéticos de radiofrecuencia (110 MHz – 40 GHz). Público en general.
- **Norma UNE-EN 50400.** Norma básica para demostrar la conformidad de los equipos fijos de transmisión de radio (110 MHz – 40 GHz) destinado al uso en redes de telecomunicación inalámbricas con las restricciones básicas o los niveles de referencia relativos a la exposición del público en general a los campos electromagnéticos de radiofrecuencia, cuando se ponen en servicio.
- **Norma UNE-EN 61907.** Ingeniería de confiabilidad de las redes de comunicación.
- **Norma UNE-EN 301489-3 V1.2.1.** Cuestiones de Compatibilidad Electromagnética y Espectro Radioeléctrico (ERM). Norma de Compatibilidad Electromagnética (CEM) para los equipos y servicios radioeléctricos. Parte 3: Condiciones específicas para los dispositivos de corto alcance (SRD) y que funcionan en las frecuencias comprendidas entre 9 kHz y 40 GHz.

- **Norma UNE 50520.** Redes de estaciones meteorológicas automáticas. Criterios de localización de emplazamientos e instalación de sensores. Características de adquisición y muestreo.

2.2.4.2. Programas de desarrollo

Para la elaboración de este proyecto se ha usado los siguientes softwares:

- **XCTU:** Para la programación de los módulos inalámbricos.
- **MATLAB:** Lectura de los sensores de los módulos y comunicación con el módulo coordinador.
- **Altium Designer.** Diseño de la placa PCB para un montaje final con los componentes de diseño del proyecto.

2.2.4.3. Plan de gestión de la calidad aplicado durante la redacción del Proyecto

La realización del mismo se hará siguiendo las normas AENOR y en particular la Norma UNE 157001 de 2014 sobre los criterios generales para la elaboración de proyectos.

Este proyecto, al ser un proyecto de fin de Máster, realizado por un alumno, sin la supervisión o ponencia de ninguna empresa, no se ve amparado por ningún manual de calidad.

2.2.4.4. Bibliografía

Basak. (2012). A literature review on integration of distributed energy resources in the perspective of control, protection and stability of microgrid. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 5545-5556.

- Gutierrez-Corea. (2016). Forecasting short-term solar irradiance based on artificial neural networks and data from neighboring meteorological stations. *Solar Energy*, 134, 119-131.
- Jamaly. (2018). Robust cloud motion estimation by spatio-temporal correlation analysis of irradiance data. *Solar Energy*, 159, 306-317.
- Lohmann. (2016). Local short-term variability in solar irradiance. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 16, 6365-6379.
- Lorenzo. (2015). Irradiance forecasts based on an irradiance monitoring network, cloud motion, and spatial averaging. *Solar Energy*, 122, 1558-1169.
- Mazzola. (2016). Assessing the value of forecast-based dispatch in the operation of off-grid rural microgrids. *Renewable Energy*, 134, 119-131.
- Schenk. (2015). Design and Operation of an Irradiance Measurement Network. *Energy Procedia*, 69, 2019-2030.
- Scolari. (2016). Irradiance prediction intervals for PV stochastic generation in microgrid applications. *Solar Energy*, 116-129.
- Yang. (2017). On adding and removing sensors in a solar irradiance monitoring network for areal forecasting and PV system performance evaluation. *Solar Energy*, 155, 1417-1430.
- Yang. (2018). History and trends in solar irradiance and PV power forecasting: A preliminary assessment and review using text mining. *Solar Energy*.
- Zhou. (2016). Big data driven smart energy management: From big data to big insights. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 56, 215-225.

2.2.5. Definiciones y abreviaturas

- **ADC:** Analog Digital Converter. Convertidor analógico-digital. Dispositivo electrónico capaz de convertir una señal eléctrica analógica en una señal binaria.
- **API:** Application Programming Interface: conjunto de subrutinas, funciones y procedimientos que ofrece cierta biblioteca para ser utilizado por otro software como una cama de abstracción.
- **Baud rate:** Tasa de baudios. Es el número de unidades de señal por unidad de tiempo, por lo general, un segundo.
- **Bits:** Unidad mínima de información en sistemas electrónicos que puede representar solo dos estados (1 ó 0).

- **BT:** Bluetooth.
- **Checksum:** En telecomunicaciones y sistemas electrónicos, hace referencia a la suma de comprobación, realizado con el propósito de detectar cambios accidentales en una secuencia de datos.
- **dB:** Decibelios. Medida en escala logarítmica utilizada para expresar el nivel de potencia.
- **Debug:** Término inglés que significa “depuración”. Es un modo especial diseñado para detectar fallos durante la ejecución de una tarea, ofreciendo por lo general, más información de la que se obtiene sin este modo.
- **GSM:** Global system for mobile comunitations (Sistema de comunicación global para móviles)
- **MG:** Microgrids.
- **NTC:** Negative Temperature Coefficient. Sensor de temperatura que varía su resistencia en función de la temperatura.
- **PCB:** del inglés “Printed Circuit Board”, placa de circuito impreso. Es una superficie constituida por caminos y pistas de material conductor sobre una base no conducta.
- **Query:** Consulta, petición explícita.
- **QPSK:** Quadrature Phase-Shift Keying. Forma de modulación que consiste en hacer variar la fase de la portadora entre un número de valores discretos.
- **RF:** Radiofrecuencia.
- **Script:** Archivo de órdenes o procesamiento por lotes.
- **µc:** microcontrolador o microprocesador.

2.2.6. Requisitos de diseño

El sistema debe cumplir con los siguientes requisitos:

- **Red de comunicación robusta.** Requisito necesario de tal modo que los sensores tengan varias rutas de comunicación en caso de que algún nodo falle.
- **Flexibilidad.** El sistema se debe adaptar a diferentes sensores.

- **Alta tasa de refresco:** Se debe cumplir con las necesidades de monitorización en el rango inferior al segundo.
- **Bajo coste:** El coste del sistema de predicción no debería ser superior al coste del equipo a optimizar.
- **Escalabilidad.** El sistema debe ser modular, adaptable a diferentes escalas y ampliable.
- **Intercambiabilidad.** Los módulos deben ser fácilmente sustituibles si uno de ellos falla.
- **Eficiencia.** Se buscarán módulos de bajo consumo que permitan la monitorización con el menor costo energético posible, sin perder funcionalidad.
- **Seguridad.** Los módulos usados deben permitir que la red sea segura.
- **Mantenimiento.** El diseño de la red debe permitir realizar mantenimientos perjudicando a la red lo menos posible.

2.2.7. Análisis de soluciones

En este apartado se verán las soluciones para los distintos aspectos del proyecto. Se tratarán en primer lugar la tecnología usada y, en segundo lugar, la arquitectura de la red a emplear. Posteriormente, se analizarán las soluciones para la elección del sensor y se finalizará con la solución de la interfaz gráfica escogida.

2.2.7.1. Tecnología de comunicación de la red

Se plantean la solución del proyecto con las siguientes tecnologías:

- Wifi (módulos ESP8266)
- Bluetooth
- GSM
- ZigBee
- Comunicación por RF con módulos de comunicación AM

Quedan descartadas las tecnologías cableadas por costes, inviabilidad y necesidad de instalación y obra menor. Asimismo, quedan descartadas las tecnologías inalámbricas de muy corto alcance o que requieran de visión directa de los módulos emisor y receptor. También se descartan las tecnologías de comunicación por RF con módulos AM debido a que su señal puede verse altamente afectada por el ruido electromagnético.

Por tanto, las tecnologías de comunicación mínimamente aceptables son las de tipo Wifi, GSM y ZigBee. Para analizar la mejor solución se construye la siguiente tabla:

	GSM	ZigBee	Wifi	Bluetooth
Consumo típico	350 mA	23 mA	120 mA	40 mA
Alcance típico (int)	>>km	38 m	10 m	40m
Arquitectura de red	Estrella	Estrella Árbol / Malla	Estrella Árbol	Estrella Árbol
Coste del módulo	39€ aprox	27€ aprox	6€ aprox (ESP8266)	45€ (100mW)
Hardware externo	Sí, un μ c	No necesario	Sí, un μ c	Sí, un μ c
Red cifrada de forma nativa	Depende de la red	Sí	No	Sí, baja seguridad
Necesita teleoperadoras	Sí	No	No necesario	No

Tabla 1. Análisis de alternativas de RF

Analizando los costes, y viendo que el módulo GSM requiere de un microcontrolador externo y una contratación de servicios con una teleoperadora, queda descartada dicha opción puesto que ZigBee tiene menos coste por módulo y no requiere de microcontrolador externo ni de contratación de servicios externos.

La necesidad imperiosa de un microcontrolador externo complica en gran parte el proyecto, ya que es un hardware más a programar, pero visto el coste del módulo ESP8266 es una solución a analizar, aunque requeriría de diversos routers repartidos estratégicamente que permitan la comunicación de los módulos ESP8266 con la red de comunicaciones. Como se busca un bajo impacto de instalación, se descartan los módulos Wifi ESP8266.

Analizando la tecnología ZigBee contra Bluetooth, se aprecian ciertas ventajas en la primera como pueden ser la capacidad de nodos en la red, en ZigBee es de hasta 65535 nodos en subredes de 255 nodos, frente a los 8 nodos que nos ofrece una subred Bluetooth (Piconet). Además, ZigBee presenta un menor consumo eléctrico. La ventaja que se obtiene usando Bluetooth es la mayor tasa de transmisión de datos, de hasta 3000 kbps frente a los 250 kbps típicos que nos ofrece ZigBee. Aunque para las especificaciones del proyecto, esta ventaja del Bluetooth no es significativa ya que las cantidades de información a manejar son mínimas.

Por todo ello, nos quedamos como solución para nuestro proyecto, con la red ZigBee, ya que sin hardware externo, nos va a permitir crear una red mallada robusta, no necesitado de microcontrolador externo, nos incluye hasta 6 canales ADC de 10 bit con un rango de 1.2V, automuestreo de los canales ADC, y con un alcance interior bastante aceptable con un bajo consumo energético.

Por todo ello, se selecciona la tecnología ZigBee como solución para la red de sensores ya que, sin hardware externo, permitirá crear una red mallada robusta. Esta tecnología, al no necesitar microcontrolador externo, incluye hasta 5 canales ADC de 10 bits con un rango de 1.2 V y automuestreo de los canales ADC, todo ello con un alcance interior bastante aceptable y con un bajo consumo energético.

2.2.7.1.1. Arquitectura de la red

Se plantea la posibilidad de usar una red tipo árbol, pero se desaprovecharían módulos para que hagan de repetidor exclusivamente.

Como se desea que la red sea robusta, y que los módulos no tengan la necesidad de comunicación directa con el módulo coordinador, se va a crear una red mallada (los módulos de comunicación pueden funcionar como repetidores).

2.2.7.2. Elección de Sensores

Para la ejecución del prototipo de este proyecto, usaremos sensores analógicos para aprovechar las entradas ADC que disponen de los módulos de comunicación. Cada módulo dispone de hasta 4 canales ADC. Para cumplir las expectativas del proyecto, solo se requeriría un sensor con fin solar, pero se ha decidido añadir además un sensor de temperatura y un divisor resistivo para la estimación del nivel de batería.

2.2.7.3. Elección de alimentación de los módulos.

Los módulos XBee se deben alimentar con una tensión comprendida entre 2.8 V y 3.4 V. Para ello se empleará un regulador de tensión de tensión conmutado, por presentar mayores eficiencias que los reguladores de tipo resistivo.

La energía para alimentar el módulo se obtendrá de una celda de polímero de Litio, que a su vez será cargada mediante un gestor de baterías que obtendrá su energía de un panel solar de 5 Wp que acompañará al nodo de medición.

Este rango de entrada en la alimentación de los módulos será posible debido a que se empleará un regulador de tensión conmutado MCP1702 de Microchip.

2.2.7.4. Lectura y adquisición de datos en el ordenador de control

Para realizar la lectura de los datos de la red se emplea el software MATLAB debido a su sencillez para desarrollar scripts y sus capacidades de comunicación a través del puerto serie. Además, cuenta con numerosas librerías para la gestión de datos, vectores y cadenas que facilitan enormemente el desarrollo de un algoritmo de lectura y gestión de los datos.

2.2.7.5. Interfaz gráfica

La interfaz gráfica de usuario también se diseña en MATLAB, debido a que es el mismo software que hará la lectura y adquisición de los datos de la red. Al usar la misma herramienta, la creación de una interfaz gráfica comunicada con los datos adquiridos será mucho más simple que si se usan distintos softwares, ya que casi con certeza, el número de incompatibilidades presentadas será mayor. Además, MATLAB cuenta con diversas herramientas para la gestión de interfaces de usuario, representación y almacenamiento de datos.

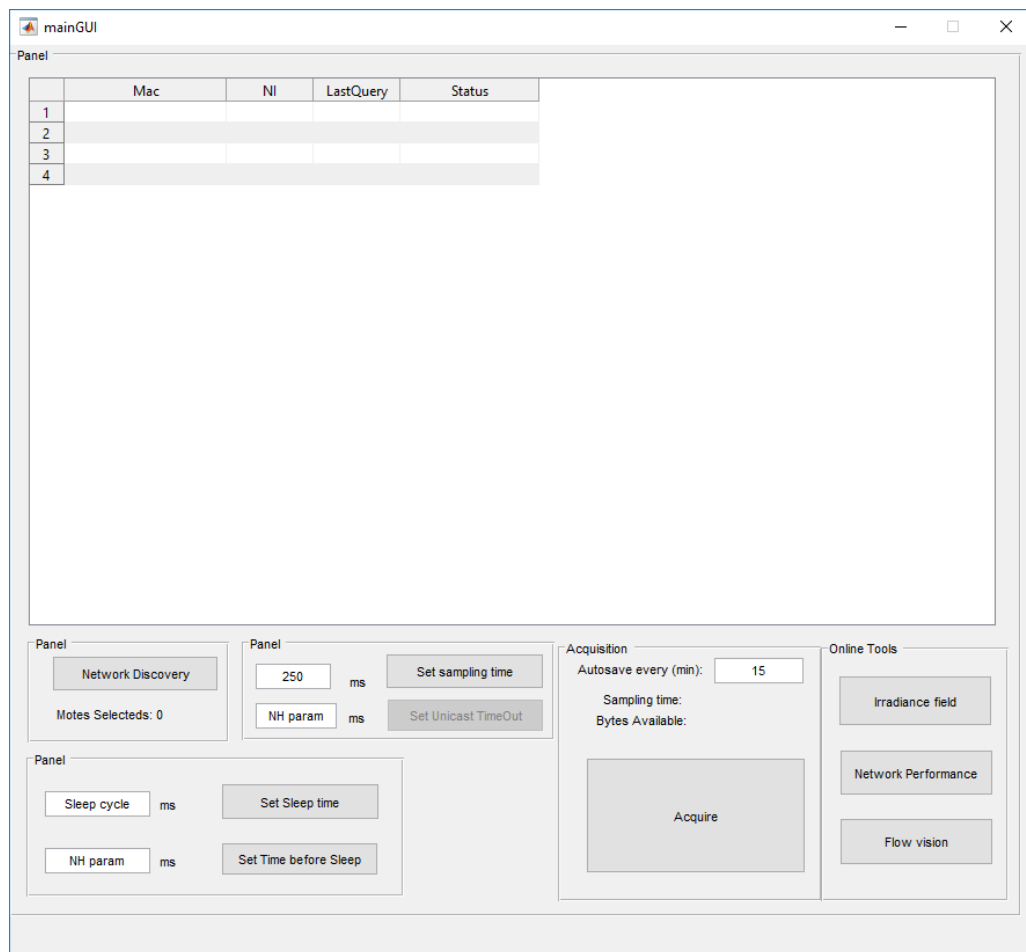


Figura 1. Interfaz Gráfica de usuario

2.2.8. Resultados finales

2.2.8.1. Descripción general

La solución adoptada usará dispositivos XBee S2 de Digi (véase 2.2.8.3), que funcionan de acuerdo al estándar de comunicaciones ZigBee (véase 2.2.8.2), para formar una red, en la cual existirá un único coordinador de red conectado al ordenador, mediante conexión USB, emulando un puerto serie, para la adquisición de datos de la red. Dicha red estará compuesta por dispositivos XBee funcionando como routers (véase 2.2.8.2.32.2.8.2.3), los cuales tendrán soldados los sensores de medición de las variables del entorno.

Los datos de la red serán leídos por el ordenador de control, a través de un script de MATLAB, el cual realizará la lectura del puerto serie de forma periódica y almacenará los datos. Los datos almacenados por el script deben ser accesibles posteriormente por la interfaz de usuario, por lo que el formato de intercambio debe estar estandarizado para su correcta lectura y escritura.

Se ha conseguido optimizar la red de sensores para que funcione por debajo del segundo de muestreo, por lo que se convierte, hasta donde el autor conoce, en la primera red de sensores para la monitorización solar online, capaz de muestrear por encima de 1 muestra por segundo. Varias búsquedas profundas de redes similares a esta no me han arrojado ninguna red que disponga de estas características, que considero esenciales para poder hacer predicción de irradiancia solar local a muy corto plazo, que a su vez es fundamental para el control inteligente en sistemas de generación fotovoltaico en microgrids, donde apenas se aprecia el efecto “smoothing” como ocurre en sistemas de generación mucho mas grandes.

2.2.8.2. ZigBee

2.2.8.2.1. ¿Qué es?

ZigBee es el nombre de la especificación de un conjunto de protocolos de alto nivel de comunicación inalámbrica para su utilización con radiodifusión digital de bajo consumo, basada en el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas de área personal (wireless personal area network, WPAN). Su objetivo son las aplicaciones que requieren comunicaciones seguras con baja tasa de envío de datos y maximización de la vida útil de sus baterías.

Las características que lo diferencian de otras tecnologías son las siguientes:

- Su bajo consumo.
- Su topología de red en malla.
- Su fácil integración (se pueden fabricar nodos con muy poca electrónica).

2.2.8.2.2. ¿Cómo funciona?

ZigBee se basa en el nivel físico y el control de acceso al medio (MAC) definidos en la versión de 2003 del estándar IEEE 802.15.4

ZigBee utiliza la banda ISM para usos industriales, científicos y médicos; en concreto, 868 MHz en Europa, 915 MHz en Estados Unidos y 2,4 GHz en todo el mundo. Sin embargo, a la hora de diseñar dispositivos, las empresas optarán prácticamente siempre por la banda de 2,4 GHz, por ser libre en todo el mundo. El desarrollo de la tecnología se centra en la sencillez y el bajo costo más que otras redes inalámbricas semejantes de la familia WPAN, como por ejemplo Bluetooth. El nodo ZigBee más completo requiere en teoría cerca del 10% del hardware de un nodo Bluetooth o Wi-Fi típico; esta cifra baja al 2% para los nodos más sencillos.

En ocasiones ZigBee 2007 se denomina Pro, pero Pro es en realidad un perfil de pila que define ciertas características sobre la misma.

El nivel de red de ZigBee 2007 no es compatible con el de ZigBee 2004-2006, aunque un nodo RFD puede unirse a una red 2007 y viceversa. No pueden combinarse routers de las versiones antiguas con un coordinador 2007.

2.2.8.2.3. Dispositivos ZigBee y red ZigBee

Se definen tres tipos distintos de dispositivo ZigBee según su papel en la red:

- **Coordinador ZigBee (ZigBee Coordinator, ZC).** El tipo de dispositivo más completo. Debe existir al menos uno por red. Sus funciones son las de encargarse de controlar la red y los caminos que deben seguir los dispositivos para conectarse entre ellos.
- **Router ZigBee (ZigBee Router, ZR).** Interconecta dispositivos separados en la topología de la red, además de ofrecer un nivel de aplicación para la ejecución de código de usuario.
- **Dispositivo Final (ZigBee End Device, ZED).** Posee la funcionalidad necesaria para comunicarse con su nodo padre (el coordinador o un router), pero no puede transmitir información destinada a otros dispositivos. De esta forma, este tipo de nodo puede estar dormido la mayor parte del tiempo, aumentando la vida media de sus baterías. Un ZED tiene requerimientos mínimos de memoria y es por tanto significativamente más barato.

Como ejemplo de aplicación en Domótica, en una habitación de la casa se tendrán diversos Dispositivos Finales (como un interruptor y una lámpara) y una red de interconexión realizada con Routers ZigBee y gobernada por el Coordinador.

2.2.8.2.4. Topologías admisibles en una red ZigBee

ZigBee permite tres topologías de red:

- **Topología en estrella:** Un coordinador mantiene una comunicación unidireccional con cada uno de los nodos de la red.

- **Topología de árbol:** El coordinador es la raíz de la red, aunque diversos nodos pueden ser intermediarios en la comunicación de otros nodos.
- **Topología de malla:** La red es controlada por el coordinador, pero puede existir comunicación de un nodo con varios de ellos, de tal forma que existen varias vías para una comunicación eficaz.

Para dejar más claras estas ideas, se detalla gráficamente a continuación cada una de las tres topologías.

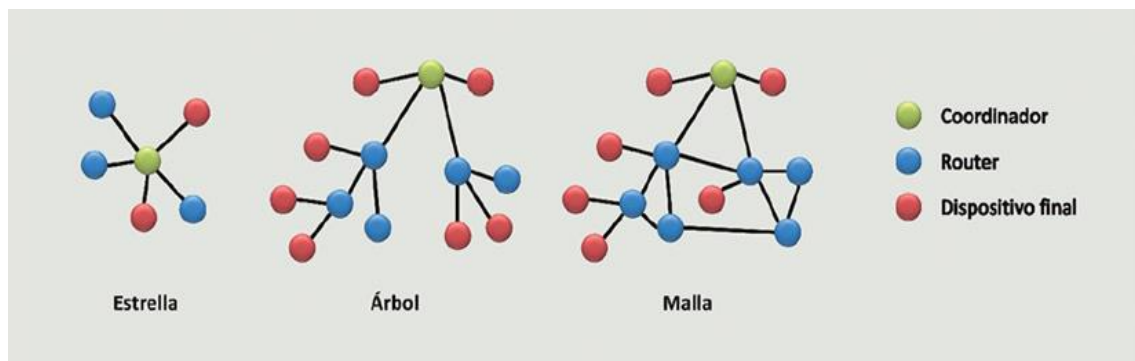


Figura 2. Topologías admisibles en una red ZigBee

2.2.8.3. XBee

2.2.8.3.1. ¿Qué es?

XBee es el nombre de una familia de módulos de radio de Digi Int.

Los módulos de radio de XBee S2 pueden ser usados con un mínimo número de conexiones, la mayoría de las familias XBee tienen otras características como control de flujo, entradas y

salidas, ADC e indicadores. Una versión llamada XBee programable tiene además un procesador para código de usuario.

2.2.8.3.2. Configuración específica la red

Para el desarrollo de este proyecto, se escogerá, como ya se comentó anteriormente, una topología de red tipo malla, ya que de este modo se permite que los nodos puedan comunicarse con el coordinador por vías alternativas en caso de que un nodo falle.

Se descartan las configuraciones tipo árbol o estrella debido a que solo existe un camino posible para la comunicación de los dispositivos, y el fallo de uno de ellos puede dejar la red parcial o totalmente inoperativa.

Esta configuración de red requiere de un elemento indispensable, que es el nodo con función de coordinador. Este nodo, como su nombre indica, es el encargado de coordinar todos los dispositivos de la red, y sin él, no es posible comunicación alguna.

El resto de dispositivos de la red mallada pueden ser dispositivos finales (End Devices), o routers, la diferencia entre uno y otro es que el router puede establecer caminos alternativos para la comunicación de dispositivos y el dispositivo final no.

En una primera instancia puede parecer conveniente establecer un coordinador y el resto de dispositivos como Routers, ya que los routers permiten la adquisición de datos y además pueden ofrecer el servicio de puente para la transmisión de la información. Esto nos lleva a hacer una evaluación con la red ya desarrollada. Se hicieron dos pruebas principales:

- Todos los dispositivos como routers
- La mayoría de los dispositivos como End Devices, y algunos routers necesarios.

En el último caso, los routers son necesarios puesto que el coordinador solo acepta 10 dispositivos conectados directamente.

En esta primera prueba se apreció una gran mejoría en el segundo caso, respecto a la cantidad de paquetes recibidos correctamente, latencia y uniformidad de los datos.

Esto nos lleva a iniciar un segundo estudio que responda a la pregunta ¿Cuál es la configuración optima para 16 nodos de medición? Esta pregunta se responde iniciando una serie de pruebas que involucren la misma cantidad de nodos de medición y añadiendo routers adicionales a la red. Además, se debe probar el rendimiento a diferentes frecuencias de muestreo. El resumen de las pruebas se resume en las siguientes graficas.

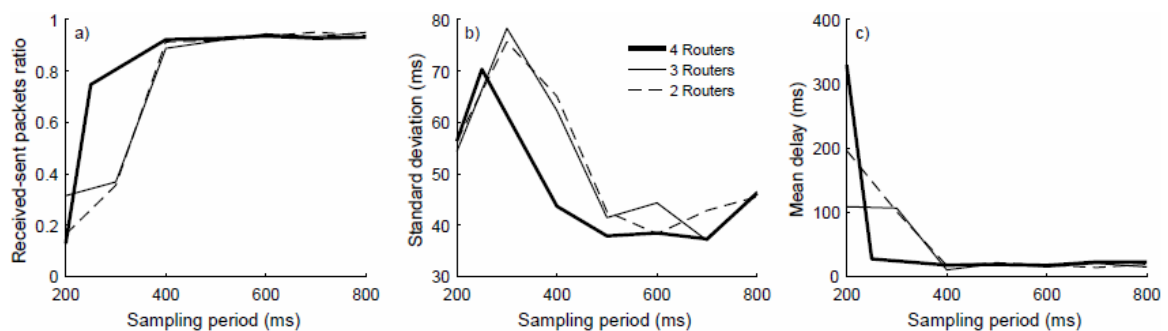


Figura 3. Comportamiento de la red en diferentes configuraciones

La situación ideal está asociada a un ratio de recepción de paquetes correctos de 1, y a una desviación estándar y retraso medio de 0 ms. Esto implica que se reciben todos los paquetes emitidos con una periodicidad igual a la seleccionada en el periodo de muestreo. Atendiendo a la figura anterior, vemos que la tasa de recepción es aceptable a partir de un periodo de muestreo de 400 ms, del mismo modo, la desviación estándar se estabiliza a partir de los 400 ms. Por último, el retraso promedio en el caso más desfavorable, también se estabiliza a partir de los 400 ms. Esto nos lleva a fijar nuestro periodo de muestreo en un límite inferior de 400 ms. A fin de no forzar demasiado la red, se trabajará con un periodo de muestreo de 500 ms y 4 routers, ya que 4 routers no suponen un coste adicional grande y ofrece una robustez extra que no tendríamos con 3 routers.

2.2.8.3.3. Software de programación de los módulos

El fabricante de los módulos XBee ofrece un software para la programación de los mismos, que recibe el nombre de XCTU, y el cual es libre y multiplataforma.

Entre las funciones más destacadas del software se puede encontrar:

- Programación de los módulos por puerto serie y de forma remota.
- Capacidad de visualizar la red gráficamente.
- Constructor de Frame API.
- Interpretador de Frame API.
- Gestionar y configurar múltiples dispositivos XBee.
- Recuperación y actualización de firmwares.
- Consolas específicas API y AT.
- Capacidad de guardar las sesiones de consola y luego cargarlas.
- Capacidad para recuperar módulos que tengan el firmware dañado.
- Test de rango entre dos módulos de radio.
- Explorador de firmwares.
- Contiene la documentación completa de los módulos, la cual puede ser consultada en cualquier momento.
-

2.2.8.3.4. Modo AT y modo API

Los módulos pueden transmitir los datos recibidos por RF a través del puerto serie mediante dos modos, los conocidos modos AT y API. A continuación, se detallan las características de cada uno.

2.2.8.3.4.1. Modo AT

Los módulos pueden ser configurados en modo de transmisión serie transparente (Modo AT), en el cual la comunicación se asemeja a lo que sería una transmisión a través de un puerto serie. El dispositivo se encarga de crear y enviar la trama y que el dato llegue al pin Tx de forma inalámbrica, por lo cual se considera como el modo más sencillo para utilizar estos nodos. Su principal desventaja es que para enviar información a distintos nodos es necesario entrar constantemente al modo configuración para cambiar la dirección de destino.

2.2.8.3.4.2. Modo API

En este modo de comunicación, un dispositivo externo se debe encargar de crear una trama específica al tipo de información que se va a enviar. Este es recomendado para redes muy grandes donde no es viable reconfigurar todos los dispositivos cada vez que se quiera realizar una nueva acción, como ocurre en redes con topología en malla. La respuesta a las peticiones de comandos realizadas en modo API no requieren de un microcontrolador externo, ya que los nodos consultados construyen el frame requerido y lo devuelven al nodo que realizó la petición.

2.2.8.3.4.3. Elección de modo de operación

Como ya se ha comentado en los apartados anteriores, la topología de la red creada será mallada con posibilidad de ser enorme, lo que acondiciona el uso del modo API durante el proyecto. Este modo nos permite operar los nodos de la red sin necesidad de un microcontrolador externo, evitando un sobre coste y permitiendo así, simplificar a nivel técnico la solución, ya que no se requiere la creación de un código de usuario para la programación del microcontrolador.

2.2.8.3.5. Configuración de los dispositivos XBee

Para que los dispositivos tomen una función específica dentro de la red, hay que cargarle el firmware específico para que desarrollen tal función. A continuación, se detalla cómo cargar el firmware específico en cada tipo de dispositivo. Para cargar el firmware del coordinador, se debe abrir el software XCTU, donde aparece una ventana como la siguiente:

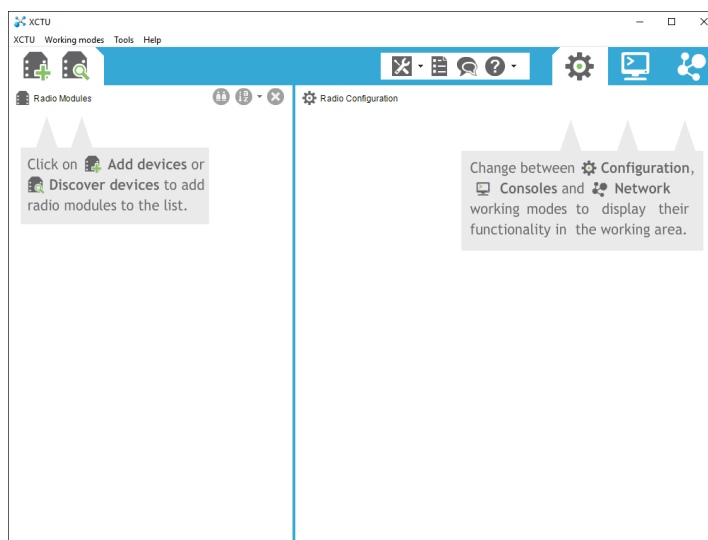


Figura 4. Ventana principal del software XCTU

Se pulsa en añadir dispositivos:

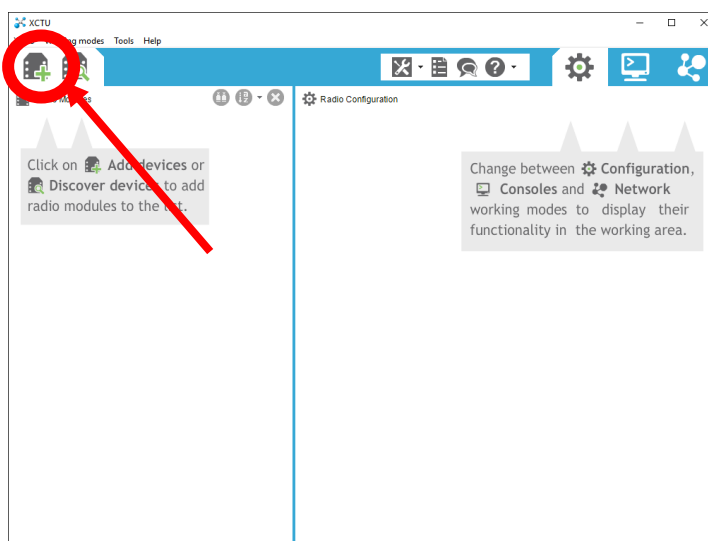


Figura 5. Botón añadir dispositivos en el software XCTU

Se selecciona el dispositivo conectado por puerto serie, asociado al dispositivo XBee a programar, del siguiente modo:

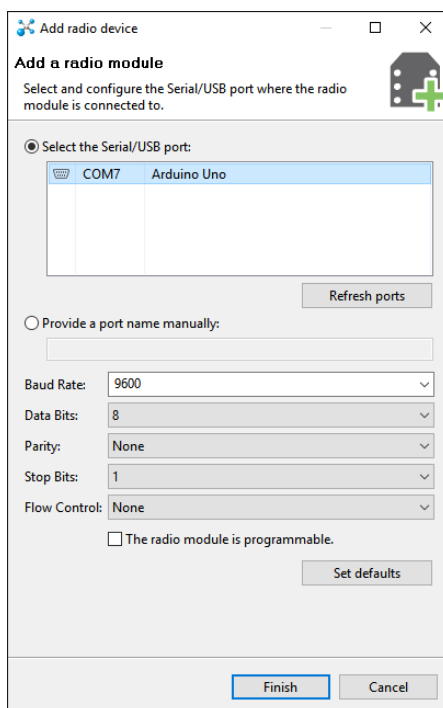


Figura 6. Menú 'Añadir dispositivo de radio' en XCTU

Y se pulsa sobre el botón *Finish*. A continuación, aparecerá una ventana como la siguiente, donde se debe pulsar sobre el dispositivo que se desea programar:

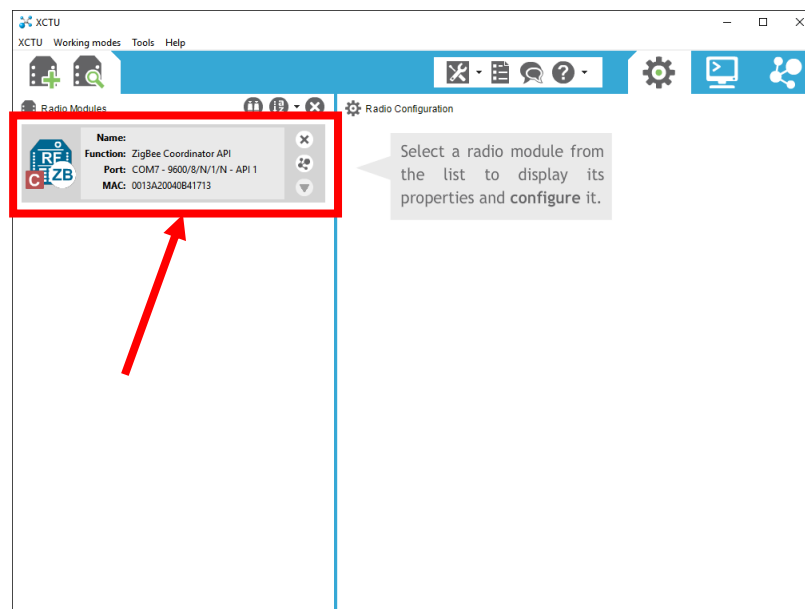


Figura 7. Gestión de un dispositivo en XCTU

En ventana que se muestra, se debe pulsar sobre el botón “Update”:

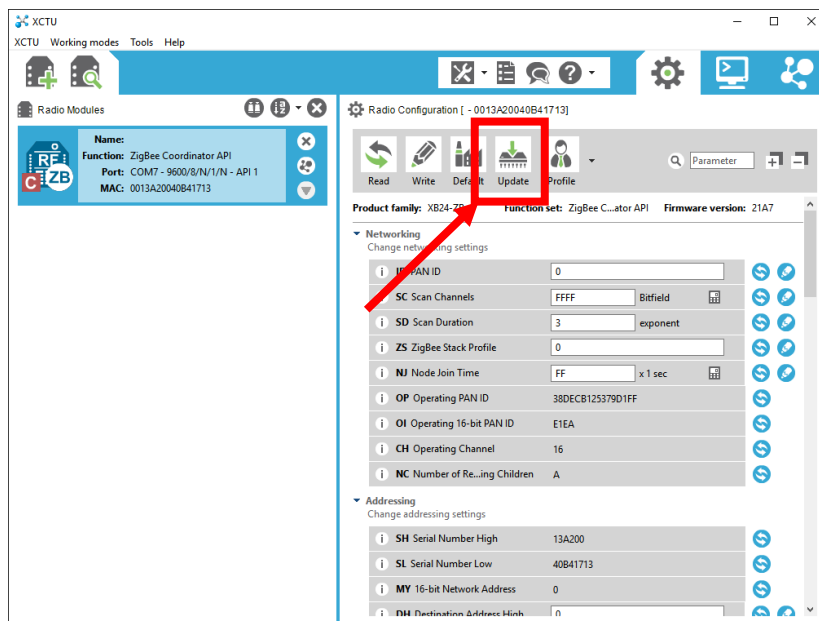


Figura 8. Botón de actualización de firmware en el software XCTU

Se despliega en pantalla la lista de firmwares disponibles. En la primera columna se muestra la categoría de familia de producto. En la segunda columna se debe elegir con la función que va a desempeñar el dispositivo y en la última columna la versión a usar.

Para configurar el dispositivo como coordinador, se debe dirigir ahora al apartado 2.2.8.3.5.1. de este documento. En cambio, para configurarlo como Router se debe dirigir al apartado 2.2.8.3.5.2.

2.2.8.3.5.1. Coordinador

En la primera lista se debe escoger la familia del producto XB24-ZB, que es el dispositivo empleado para el desarrollo del presente proyecto. Si se está trabajando con otros módulos XBee de Digi, se debe elegir la familia correcta.

En la segunda lista se debe escoger la función de Coordinador y, como se desarrolló anteriormente, se debe trabajar en modo API. Por último, seleccionar la versión de firmware que, siempre que sea posible, por funcionalidad y motivos de seguridad, se deberá escoger la versión más reciente. Si se desea realizar una actualización limpia se debe desmarcar la opción *“Force the module to maintain its current configuration”*.

A continuación, se detalla una captura de pantalla de la sección de actualización de firmware.

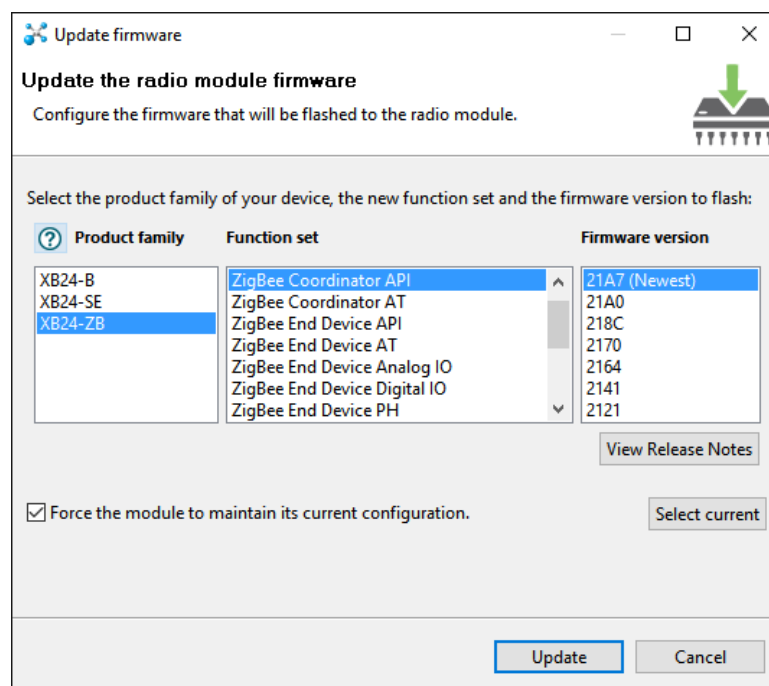


Figura 9. Selección del firmware Coordinador API en XCTU

2.2.8.3.5.2. Routers

En la primera lista se debe escoger la familia del producto. En caso de seleccionar XB24-ZB, si se está trabajando con otros módulos XBee, aquí se debe elegir la familia correcta.

En la segunda lista se debe escoger la función de Router y, como se desarrolló anteriormente, se debe trabajar en modo API. Por último, seleccionar la versión de firmware que, siempre que sea posible, por funcionalidad y motivos de seguridad, se deberá escoger la versión más reciente.

Si se desea realizar una actualización limpia se debe desmarcar la opción “*Force the module to maintain its current configuration*”.

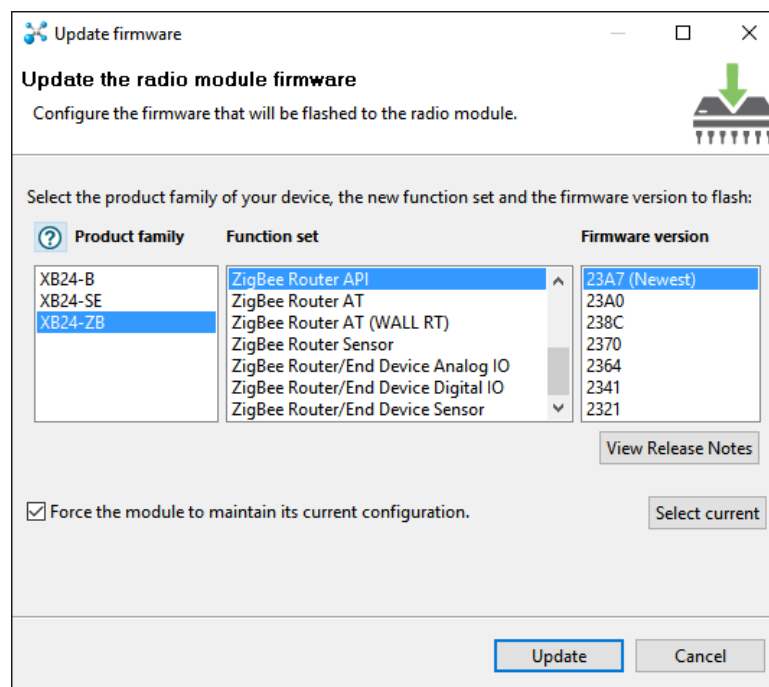


Figura 10. Selección del firmware Router API en el software XCTU

2.2.8.3.6. Configuración de la red ZigBee

A continuación, se detalla la función que desempeña cada una de las opciones dentro del apartado de red (Networking) del software XCTU:

- **PAN ID:** (Personal Area Network ID). Se debe ajustar el mismo valor para todos los dispositivos de la red. Cuando el valor está ajustado, el dispositivo solo se conectará al PAN ID especificado. Si se establece con valor 0, el dispositivo XBee se conectará a cualquier PAN ID. Si la red a desarrollar no va a tener otra red a su alcance, se puede dejar el valor por defecto para que se conecte a cualquier red.

- **Scan Channels:** Lista de canales a escanear para buscar la red activa. Por defecto su valor es 0xFFFF, lo que indica que buscará en todos los canales una red activa. Si esta solución no tiene otra red activa en su entorno, este campo se puede dejar por defecto.
- **Scan Duration:** Este parámetro establece el tiempo de búsqueda de un PAN activo en cada canal. Este parámetro (SD) establece el tiempo de búsqueda con la siguiente ecuación:

$$\text{Tiempo de escaneo por canal} = 2^{SD} \cdot 15.36 \text{ ms}$$

- **ZigBee Stack Profile:** Perfil de pila de ZigBee. Este parámetro se deberá dejar a 0 para que sea el coordinador de red el que establezca este parámetro de forma automática.
- **Node Join Time:** El valor de este parámetro establece (en segundos) el tiempo que el dispositivo permitirá a otros dispositivos unirse a él. Este parámetro debe ser configurado como 0xFF para permitir siempre que un dispositivo se una a él y hacer así la red más robusta.
- **Network Watchdog Timeout:** Este parámetro establece el tiempo (en minutos) necesario para que el dispositivo abandone la red si no recibe una comunicación válida. Este parámetro se debe configurar con valor 0 para deshabilitar esta función.
- **Channel Verification:** Determina si el dispositivo realizará o no la verificación de la existencia de un coordinador en el mismo canal de la red después de unirse o encenderse. Si se activa esta opción, el dispositivo abandonará la red si no encuentra el coordinador. Este parámetro debería configurarse a 0 para deshabilitar la verificación de canal, de este modo, en un caso no favorable, el dispositivo no abandonará la red.
- **Join Verification:** Si se activa, el dispositivo emitirá un paquete de identificación de nodo cuando se una a la red o cuando se encienda. Se recomienda que esta opción sea desactivada para redes grandes. Debido a que nuestra red es modular y puede ser grande, se debe dejar desactivado.

El resto de opciones bajo este apartado son meramente informativas. A continuación, se muestra una captura de pantalla con la configuración típica.

▼ Networking	
Change networking settings	
i ID PAN ID	0
i SC Scan Channels	FFFF Bitfield
i SD Scan Duration	3 exponent
i ZS ZigBee Stack Profile	0
i NJ Node Join Time	FF x 1 sec
i NW Network Wa...og Timeout	0 x 1 minute
i JV Channel Verification	Disabled [0]
i JN Join Notification	Disabled [0]
i OP Operating PAN ID	38DECB125379D1FF
i OI Operating 16-bit PAN ID	E1EA
i CH Operating Channel	16
i NC Number of Re...ing Children	C

Figura 11. Captura de pantalla de la configuración de red en XCTU

2.2.8.3.7. Configuración del direccionamiento

Una correcta configuración de direccionamiento en los dispositivos XBee proporcionará una eficaz comunicación entre ellos.

A continuación, se detallan los parámetros del apartado de direccionamiento (Addressing):

- **Serial Number High y Serial Number Low:** Es la dirección MAC del dispositivo y es un parámetro no modificable.
- **16-bit Network Address:** Dirección del dispositivo dentro de la red. El valor 0xFFFE significa que el dispositivo no se ha unido a una PAN.

- **Destination Address (High y Low):** Dirección de destino. Se puede usar el valor 0 para dirigir al coordinador actual de la red, y FFFF para usar la dirección de emisión (broadcast) para la PAN.
 - En el dispositivo coordinador, DH y DL se deberían ajustar a 0 ambos valores.
 - En el dispositivo router, DH debe tomar el valor del “*Serial Number High*” del coordinador y DL debe tomar el valor del “*Serial Number Low*” del coordinador, o bien, ajustar ambos valores (DH y DL) a 0 para que sea el dispositivo el que envíe de forma automática los frames al coordinador.
- **Node Identifier:** Cadena de caracteres para identificar el nodo (hasta 20 caracteres). Por defecto su valor es “ ” (un espacio). Este campo puede tomar el valor que se desee, pero se recomienda darle el valor “COORDINADOR” al coordinador de la red, “ROUTER”, a los elementos que actuarán como router y “AMBIENTAL” los nodos que se emplearán como elementos de medición, puesto que esto nos permitirá gestionar mejor la red desde la interfaz gráfica de usuario.
- **Maximum Hops:** Número máximo de saltos de emisión que determina el tiempo muerto de la transmisión a un único receptor. El timeout se determina como:

$$\text{Unicast timeout} = 50 * \text{MaximumHops} + 100.$$

El valor por defecto de este campo es “0x1E” o “30”. Se empleará el valor por defecto.

- **Broadcast Radius:** Radio de transmisión para transmisiones múltiples (broadcast). Se debe ajustar a 0 para el radio máximo.
- Los parámetros siguientes deben permanecer con su valor por defecto. (Many-to-One Router Broadcast Time, Device Identifier, Node Discovery Backoff, Node Discovery Options y PAN Conflict Threshold).

A continuación, se detallan las capturas de pantalla de direccionamiento del dispositivo coordinador y del router.

Coordinador:

networking

Addressing

Change addressing settings

SH	Serial Number High	13A200	
SL	Serial Number Low	40B41713	
MY	16-bit Network Address	0	
DH	Destination Address High	0	
DL	Destination Address Low	0	
NI	Node Identifier		
NH	Maximum Hops	1E	
BH	Broadcast Radius	0	
AR	Many-to-One Route Broadcast Time	FF	x 10 sec
DD	Device Type Identifier	30000	
NT	Node Discovery Backoff	3C	x 100 ms
NO	Node Discovery Options	3	
NP	Maximum Number ...nsmission Bytes	FF	
CR	PAN Conflict Threshold	3	

RF Interfacing

Figura 12. Configuración de direccionamiento en XCTU (Coordinador)

Router:

▼ Addressing
Change addressing settings

i	SH Serial Number High	13A200	⚙️
i	SL Serial Number Low	40A257CF	⚙️
i	MY 16-bit Network Address	E557	⚙️
i	DH Destination Address High	0	⚙️ 🔧
i	DL Destination Address Low	0	⚙️ 🔧
i	NI Node Identifier		⚙️ 🔧
i	NH Maximum Hops	1E	⚙️ 🔧
i	BH Broadcast Radius	0	⚙️ 🔧
i	AR Many-to-One Route Broadcast Time	FF x 10 sec	⚙️ 🔧
i	DD Device Type Identifier	30000	⚙️ 🔧
i	NT Node Discovery Backoff	3C x 100 ms	⚙️ 🔧
i	NO Node Discovery Options	3	⚙️ 🔧
i	NP Maximum Number ...nsmission Bytes	FF	⚙️
i	CR PAN Conflict Threshold	3	⚙️ 🔧

Figura 13. Configuración de direccionamiento en XCTU (Router)

2.2.8.3.8. Especificaciones de la interfaz de radiofrecuencia

En la interfaz del software XCTU, se deberá configurar el apartado *RF Interfacing*, de acuerdo a las siguientes especificaciones:

- **Power Level:** Inicialmente se deberá establecer esta opción con el valor “Highest”, para que el módulo trabaje con la máxima potencia de diseño. Este parámetro podrá ser reducido a un modo inferior una vez realizadas las pruebas pertinentes y asegurando que el uso de un modo de menor potencia no afecta a la red de forma significativa.
- **Power Mode:** Esta opción deberá establecerse con el valor “Boost Mode Enabled”, para mejorar la sensibilidad en 1dB e incrementar la potencia de salida en 2dB, mejorando el margen de enlace y el rango. Esta opción también puede ser establecida en “Boost Mode Disabled” si tras las pruebas pertinentes, la alteración de dicho parámetro no afecta de forma significativa a la red.

A continuación, se presenta una breve captura de pantalla de cómo debería quedar el apartado tratado en este tema en el software XCTU.

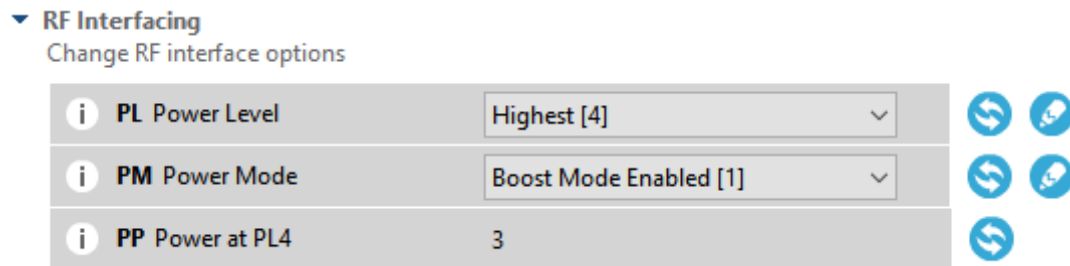


Figura 14. Configuración de la interfaz de RF en XCTU

2.2.8.3.9. Especificaciones de interfaz serie de los módulos

Todos los módulos se dejan accesibles mediante interfaz serie, por si fuese necesario una reprogramación *in-situ*, con los siguientes parámetros:

- Baud rate: 9600 baudios
- Paridad: sin paridad
- Bits de stop: un bit de stop
- DIO7: Control de flujo CTS
- DIO6: Desactivado
- API Enable: API Enable 1 (sin byte de escape)
- API Output Mode: Nativo (para que no formatee ni trate el frame recibido)

Quedando el apartado de “Serial Interfacing”, en XCTU, del siguiente modo:

▼ **Serial Interfacing**
Change modem interfacing options

i BD Baud Rate	9600 [3]	▼
i NB Parity	No Parity [0]	▼
i SB Stop Bits	One stop bit [0]	▼
i D7 DIO7 Configuration	CTS flow control [1]	▼
i D6 DIO6 Configuration	Disable [0]	▼
i AP API Enable	1 <input type="text"/>	API enabl...aping (2)
i AO API Output Mode	Native [0]	▼

Figura 15. Configuración de la interfaz serie en XCTU

Esta configuración será común para todos los nodos de la red, tanto coordinador como routers.

2.2.8.3.10. Especificaciones del modo de ahorro de energía

Los módulos XBee con función de dispositivo final o *End Device* pueden permanecer en estado dormido la mayor parte de su tiempo, con un consumo eléctrico ínfimo, y despertar solo cuando sea necesario. En cambio, los dispositivos con funciones de router y coordinador no disponen de esta opción, ya que, si algún módulo de camino crítico entra en estado de reposo, la red podría verse afectada hasta tal punto de dejar incomunicada parte de la red.

Aun así, los nodos con funciones de coordinador o router, disponen de los mismos parámetros que los dispositivos finales, pero las funciones de los parámetros son distintas. A continuación, se detallará la configuración que se debe usar para una posterior ampliación de la red con dispositivos finales.

Apartado *Sleep Modes* en el software XCTU:

- **Cyclic Sleep Period (SP):** Se debería dejar su valor por defecto, es decir “20”, pero si se modifica, se debe ajustar este parámetro al máximo entre los dispositivos finales conectados al router o coordinador.
- **Number of Cyclic Sleep Periods (SN):** Por defecto, se debería dejar en su valor por defecto, 1, y en caso de modificarse, debe ajustarse para que ningún dispositivo final sea borrado de la tabla de dispositivos hijo. El tiempo para el borrado de dicha tabla se calcula según la siguiente fórmula:

$$TimeOut = 3 \cdot SN \cdot SP \cdot 10 \text{ ms}$$

Se adjunta una breve captura de pantalla para mostrar cómo debería de quedar la configuración en el software XCTU:

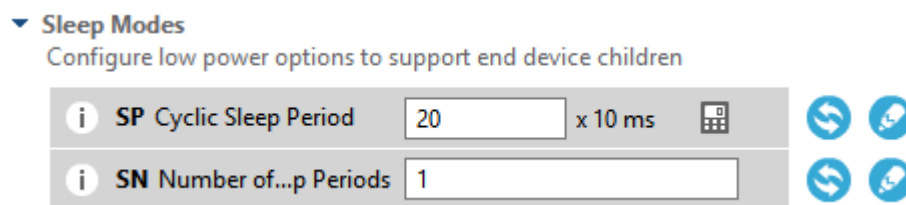


Figura 16. Configuración del modo de bajo consumo en XCTU

2.2.8.3.11. Estrategia de adquisición de datos

La monitorización de los sensores conectados a dispositivos routers XBee se puede abarcar por dos métodos:

1. **Auto-muestreo con envío automático:** El dispositivo XBee muestrea de forma periódica los canales del ADC e informa al coordinador a través de un frame de las lecturas obtenidas. Este método permite desentendernos de preguntar a cada dispositivo de forma periódica, la lectura de cada uno de sus canales, puesto que lo hace de forma autónoma, por lo que solo se obtendrá un frame de lectura por dispositivo en cada intervalo de tiempo programado.

2. **Mediante consulta o query:** El dispositivo coordinador debe enviar un frame específico a cada uno de los dispositivos de la red a consultar, para que estos informen de las lecturas de sus canales del ADC. Requiere al menos de un frame de envío y otro de recepción en el lado del coordinador, por cada dispositivo a consultar.

Se optará por la primera estrategia de adquisición de datos, puesto que es el método que menos programación requiere, y que para nuestro caso es altamente eficaz. Además, la elección de la primera estrategia no excluye el uso de la segunda.

Se debe tener en cuenta que los dispositivos empleados van a usar dos canales ADC para la monitorización de las zonas. El canal 0 del ADC será usado para la monitorización de la luz con un LDR y el canal 1 empleará un NTC para monitorizar la temperatura.

2.2.8.3.12. Configuración para la adquisición de datos

Para adoptar dicha estrategia, en el software XCTU ofrecido por el fabricante, se debe configurar los apartados “I/O Settings” e “I/O Sampling” del siguiente modo:

- **I/O Settings:**
 - **ADx/DIOx Configuration:** Se debe configurar el dispositivo XBee para que configure los pines de los sensores como canales del ADC, en nuestro caso los pines 0 y 1. El resto de pines que no van a recibir uso se deben configurar como desactivados.
 - **Pull-up Resistor Enable:** Se deben activar la resistencia del pull-up al menos en los canales del ADC a usar. En este caso en concreto serán los canales AD0 y AD1. Como este parámetro no afecta a las líneas desactivadas, se puede configurar como todas las líneas a pull-up (1FFF).
 - **Associate LED Blink Time:** Tiempo de parpadeo del led de asociación. Se debería usar su valor por defecto, “0”, para que use un tiempo de 250 ms.

- **RSSI PWM Timer:** Solo afecta al pin asociado Pin 6. Si está configurado como “RSSI PWM Output”, en nuestro caso, se debería dejar por defecto.
- **Device Options:** No debe ser alterada, a pesar de ser un campo variable. Solo admite un valor único como parámetro.

La configuración anteriormente descrita, debe tener un aspecto como el siguiente en el software XCTU:

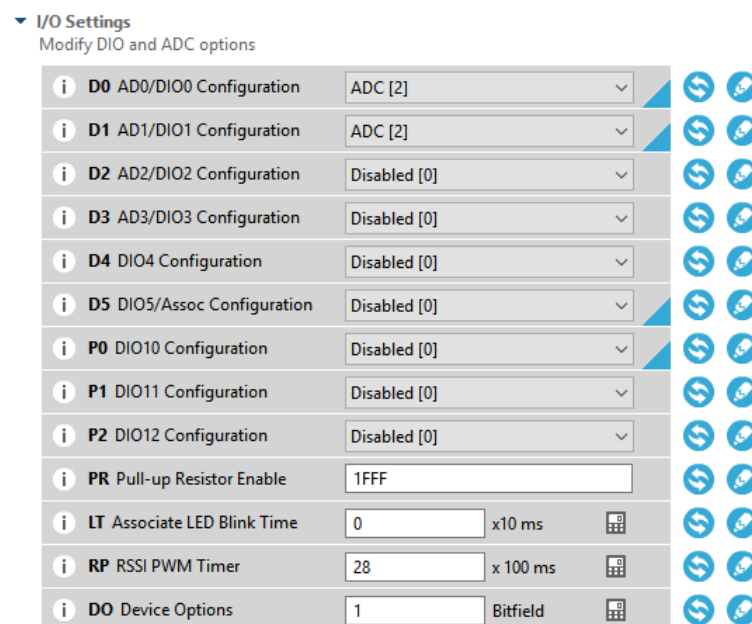


Figura 17. Configuración de las entradas y salidas en XCTU

- **I/O Sampling:**

- **IO Sampling Rate:** Debe ser ajustada con un valor superior a 0 para que muestree todas las entradas y salidas activadas. Por ello, la importancia de desactivar los pines sin uso y evitar muestreo innecesario. Para este proyecto se va a usar una tasa de muestreo de, lo que equivale a 60000 ms (60 s), que codificado a hexadecimal resulta “0xEA60”, más que suficiente para nuestro propósito.
- **Digital IO Change Detection:** Debe ser configurada con el valor numérico 0, ya que no se desea muestreo digital inmediato si se produce algún cambio.

- **Supply Voltaje High Threshold:** Debe configurarse con el valor 0, para que el muestreo del ADC sea de 0 a 1200 mV.

La configuración anterior debe tener un aspecto como el siguiente en el software XCTU.

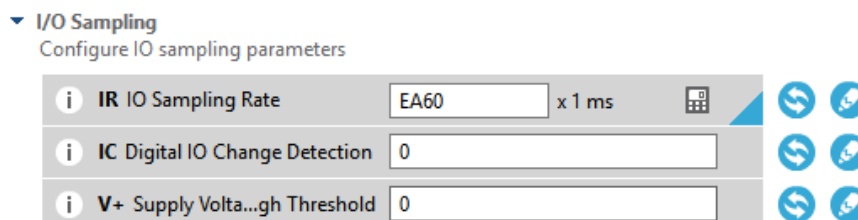


Figura 18. Configuración del muestreo automático en XCTU

2.2.8.4. Lectura y adquisición de datos en el ordenador de control

Como ya se ha descrito en el apartado de análisis de soluciones de este documento (véase 2.2.7.4), se usará el software MATLAB para programar un script que realice la lectura de los datos ofrecidos por el dispositivo coordinador de la red a través del puerto serie.

2.2.8.4.1. Formato del frame de los dispositivos XBee

En el documento de anexos se puede encontrar la documentación del protocolo de comunicaciones ZigBee para una posible mejora o ampliación del presente proyecto.

A continuación, se detallarán los dos formatos de frame que se van a tratar durante el desarrollo del prototipo.

2.2.8.4.1.1. ZigBee Receive Packet

Cuando el coordinador recibe un paquete de RF, es enviado a través del puerto de serie usando este tipo de mensaje, con el siguiente formato:

Campos del frame		#	Descripción	Ejemplo	
Delimit. inicio		0		0x7E	
Longitud	MSB	1	# bytes en “datos específicos del frame”	0x00	
	LSB	2		0x11	
Datos específicos del frame	Frame Type		3	Tipo de frame	0x90
	64-bit Source Address	MSB	4	64-bit de dirección del emisor.	0x00
			5		0x13
			6		0xA2
			7		0x00
			8		0x40
			9		0x52
			10		0x2B
		LSB	11		0xAA
	16-bit Source Network Address		12	16-bits de la dirección de la red del emisor	0x7D
			13		0x84
	Receive Options		14		0x01
	Received Data		15	Datos RF recibidos.	0x52
			16		0x78
			17		0x44
			18		0x61
			19		0x74
			20		0x61
Checksum		21	0xFF - 8 bits de suma, desde el byte 3 hasta este byte.	0x0D	

Tabla 2. Formato ZigBee del frame de paquete recibido

2.2.8.4.1.2. ZigBee IO Data Sample Rx Indicator

Cuando el módulo recibe un frame de muestreo, manda las muestras a través del puerto serie, usando el siguiente formato:

Campos del frame		#	Descripción	Ejemplo	
Delimit. inicio		0		0x7E	
Longitud	MSB	1	# bytes en “datos específicos del frame”	0x00	
	LSB	2		0x14	
Datos específicos del frame	Frame Type		3	Tipo de frame	0x92
	64-bit Source Address	MSB	4	64-bit de dirección del emisor.	0x00
			5		0x13
			6		0xA2
			7		0x00
			8		0x40
			9		0x52
			10		0x2B
		LSB	11		0xAA
	16-bit Source Network Address		12	16-bits de la dirección de la red del emisor	0x7D
			13		0x84
	Receive Options		14		0x01
	# de muestras		15	Siempre 1	0x01
	Máscara digital		16	Mascara de bits. Indica las líneas digitales muestreadas.	0x01
			17		0x1C
			18	Mascara de bits de las líneas analógicas.	0x02
			19	Muestras. Primero digitales, luego analógicas.	0x00
			20		0x14
			21		0x02
			22		0x25
Checksum		23	0xFF - 8 bits de suma, desde byte el 3 hasta el 22.	0xF5	

Tabla 3. Formato del frame de muestreo

2.2.8.4.2. Configuración y montaje de los sensores

Los elementos usados como sensores analógicos se deben montar en un divisor resistivo acorde a las especificaciones del módulo usado. En el caso que se está tratando, los módulos XBee de Digi, incluyen un ADC de 10 bit con un rango de entrada 1.2 V. A continuación, se va a exponer cómo se calculan las resistencias de los divisores de tensión y su montaje para los casos del sensor de luz (foto-transistor SFH5711) y del sensor de temperatura (NTC).

2.2.8.4.2.1. Sensor de Luz. SFH5711

Se deben conocer las especificaciones del sensor de luz. En este caso se trata del sensor SFH5711 de OSRAM. Dicho sensor es un fototransistor con una respuesta al espectro muy parecido al ojo humano y cuya salida es una corriente proporcional a la luz. El propio fabricante en la hoja de datos da la fórmula de conversión y donde se puede observar que la salida es lineal en escala semilogarítmica. Dicho de forma práctica, si somos capaces de medir la corriente de salida del sensor de luz, podemos estimar la iluminación recibida en el sensor gracias a la ecuación ofrecida por el fabricante:

$$I_{out} = S \cdot \log\left(\frac{E_v}{E_0}\right)$$

Y donde S es la sensibilidad, y toma el valor $S = 10 \mu A$, $E_0 = 1 \text{ lx}$ y E_v es la cantidad de luxes recibidos.

El fabricante, en su hoja de características nos ofrece la curva corriente de salida vs luxes recibidos por el sensor:

Output Current

$$I_{OUT} = f(E_V)$$

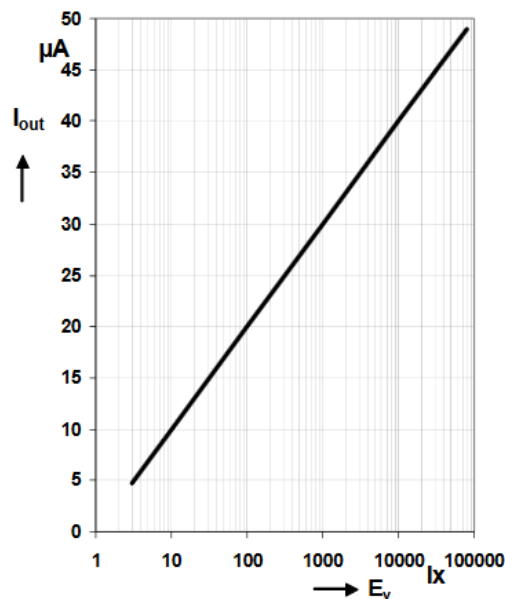


Figura 19. Curva Intensidad vs luxes del sensor SFH 5711

Rapidamente se observa en el grafico anterior, que la intensidad máxima esperada son de $50 \mu A$ para una intensidad lumínica de 100 000 luxes. Por ello, se elige como resistencia en serie a la salida de $20k\Omega$, lo que nos daría una tensión máxima de 1.00 V para la corriente máxima esperada, tensión dentro del rango de entrada del ADC (1.20 V)

2.2.8.4.2.2. Sensor de temperatura. NTC

A diferencia del LDR, se deben conocer las especificaciones exactas del termistor NTC, ya que esta medida será absoluta y no relativa, como ocurría con el LDR.

A continuación, se detalla el cálculo realizado para el uso de un sensor NTC **ND03N00103K** que ha sido el usado en el prototipo.

Del elemento anteriormente referenciado, se obtienen los siguientes datos de interés.

Especificaciones NTC ND03N00103K

Resistencia@25°C = 10 kΩ

B(K)=4080

$\Delta B/B = \pm 3\%$

$\alpha@25^\circ\text{C} = -4.6 \text{ } \%/^\circ\text{C}$

Se ha representado en una gráfica los valores de Resistencia para temperaturas comprendidas en el rango de -5°C a 50°C, ya que son las temperaturas más extremas que se esperan monitorizar.

Para graficar estos valores, se ha usado el siguiente script de MATLAB:

```
%NTC Calc
clear;clc;
T = -5:1:50;
R_25C = 10*10^3;
B = 4080;
alpha_25C = -4.6;
T_25 = 25+273;
R = R_25C.*exp(B.*(1./(T+273)-1/T_25));
plot(T,R)
ylabel('Resistencia (\Omega)')
xlabel('Temperatura (°C)')
title('R vs T')
axis tight
grid on

R(1)
R(end)
```

Obteniéndose la siguiente gráfica:

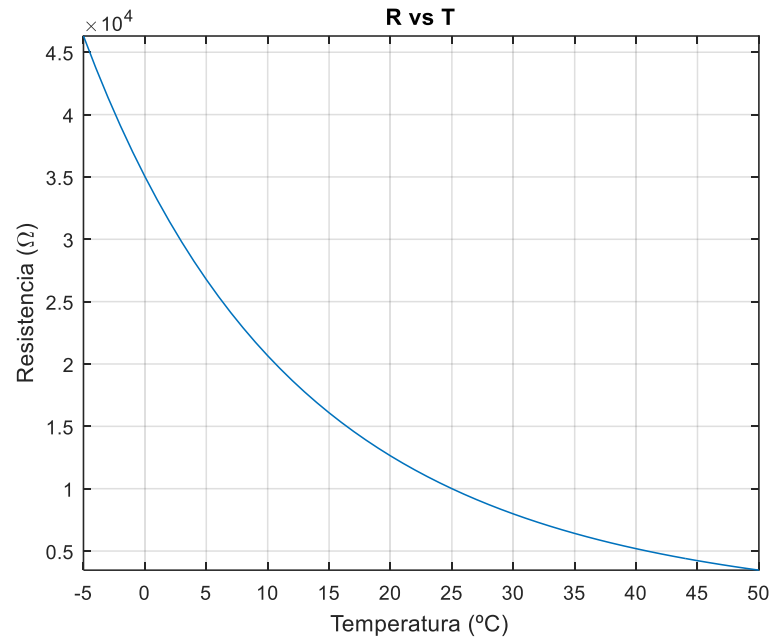


Figura 20. Curva de resistencia frente a temperatura del ND03N00103K desde -5°C a 50°C

La ventana de comando de MATLAB informa, con las dos últimas líneas del script, de la resistencia máxima y mínima esperada del NTC en el rango de temperaturas evaluado, que en este caso son:

$$R_{\max} \approx 46.3 \text{ k}\Omega \text{ y } R_{\min} \approx 3.5 \text{ k}\Omega$$

Se partirá de la base que la topología del circuito es la siguiente:

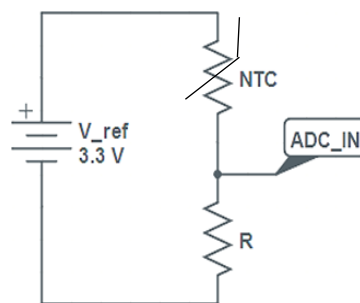


Figura 21. Topología recomendada para el sensor de temperatura

La tensión de entrada al ADC se puede calcular como

$$V_{ADC-IN} = \frac{R \cdot V_{ref}}{NTC + R}$$

Se sabe que la entrada del ADC se satura a la tensión de 1.2 V. Se despeja la resistencia necesaria para ajustar la entrada del ADC a su rango máximo, obteniéndose la siguiente ecuación:

$$R_{min,necesaria} = \frac{R_{NTCmin} \cdot V_{ref}}{1.2 V} - R_{NTCmin}$$

Suponiendo que se va a usar el termistor anteriormente descrito, la resistencia mínima necesaria para ajustar la entrada del ADC a su rango máximo es:

$$R_{min,necesaria} = \frac{3.5 k\Omega \cdot 3.3V}{1.2 V} - 3.5 k\Omega = 6.125 k\Omega$$

No obstante, si se desea tener más control sobre la adaptación del divisor de tensión, en lugar de una resistencia de valor fijo, se puede emplear un potenciómetro de baja potencia, y de un valor máximo levemente superior al calculado, para poder disfrutar de más flexibilidad de adaptación.

Para facilitar los cálculos se adjunta (en el soporte digital) una hoja de cálculos para la resistencia mínima necesaria para el divisor de tensión.

2.2.8.4.3. Lectura del puerto serie

2.2.8.4.3.1. Script principal

A continuación, se detalla brevemente el algoritmo empleado en el script principal de MATLAB (denominado mainScript.m).

Se inicializa un objeto del tipo puerto serie con el comando “serial(“COMx””, donde COMx es el puerto asociado al dispositivo coordinador.

Posteriormente, se ajustan las propiedades del objeto asociado al puerto serie para que la lectura de los datos se haga de acuerdo al protocolo de comunicación establecido en el dispositivo XBee coordinador. Posteriormente, se inicializa el objeto asociado al puerto serie.

En este punto, se inicializan las variables dinámicas necesarias para la gestión de los datos, y se abren los ficheros para el volcado de datos recibidos.

Una vez preparadas las variables para que el script funcione de forma continua, se entra a un bucle donde se espera hasta que haya una cantidad de bytes suficientes para una lectura segura.

El primer byte de lectura se vuelca sobre una variable para comprobar si corresponde con el byte de inicio del frame. En caso afirmativo, se hace la lectura de los dos siguientes bytes para obtener la longitud total de la cadena con los bytes LH y LL. Con estos datos se realiza la lectura de todos los datos que componen el frame y se guarda en una variable para luego pasarla al script auxiliar. Se lee un byte más, que es el correspondiente al byte de checksum.

Los datos leídos, se pasan al script auxiliar para que sea este el que extraiga todos los datos asociados.

Los datos extraídos se pasan al script principal, siendo este el encargado de almacenar los datos con su fecha y hora en el fichero correspondiente, dependiendo de si los datos provienen de la estación meteorológica, o de la red de sensores internos. Además, si el modo “debug” está activo, se almacena el frame recibido en el fichero de depuración.

Si el dato recibido es de un sensor interno, se identifica el nodo verificando si ese nodo está en la base de datos o no y haciendo la gestión correspondiente en cada caso.

Una vez realizada la lectura completa, se vuelve al inicio, a la espera de más datos para decodificar.

2.2.8.4.3.2. Script auxiliar de decodificación del frame

El script auxiliar, denominado `extractFrameData.m`, se ha programado para que funcione como una función de MATLAB. Esta función se llama con el mismo nombre del fichero y se le pasan dos parámetros: el frame recibido y la longitud del mismo.

El primer paso dentro de este script es comprobar si la longitud del frame es inferior a 15 bytes y, de ser así, se mostrará un error, puesto que el frame mínimo debe tener 15 bytes según las especificaciones de protocolo ZigBee.

El primer byte que viene después del byte de inicio y de los dos bytes de longitud es el byte “Tipo de frame”. Este dato es recogido en la variable “`frameType`” y se usará para hacer un switch-case dentro del script.

Se han recogido todos los casos posibles de tipo de frame dentro del script y se usan, al menos, para informar del tipo de frame recibido, aunque solo serán tratados nuestros tipos de frames de interés, que son los siguientes:

- **0x92:** Indicador de recepción de datos de muestreo de ZigBee. Este será el tipo que recibiremos proveniente de la red de dispositivos XBee funcionando como routers dentro de la misma red que el coordinador. En este caso, se extraen los datos del frame según las especificaciones del protocolo ZigBee, descritas en el apartado 2.2.8.4.1
- **0x88:** Indicador de respuesta de comando AT remoto. Será el tipo de frame que recibiremos cuando se envíe un comando AT a la red y será recibida por algún nodo, siempre y cuando el ID del comando AT enviado sea distinto de 0. El frame de respuesta varía según el comando AT enviado.

2.2.8.4.4. Gestión de las lecturas de los sensores

Los sensores son leídos a través del coordinador de la red con un valor numérico que va desde el 0 al 1023 (1024 valores para un ADC de 10-bits).

Para conocer la tensión ADC_IN a la entrada del ADC, debemos convertir el valor ofrecido por el ADC a tensión del siguiente modo:

$$ADC(mV) = (Lectura_{ADC} \cdot 1200 mV)/1023$$

En el caso del sensor de luz, no es demasiado relevante el conocer la tensión exacta en el punto de ADC_IN, puesto que con una medida relativa sería suficiente.

Para el sensor de temperatura (NTC) se usa un pequeño script que será llamado para convertir la lectura en tensión y esta, en temperatura según las características del NTC.

El script creado, denominado ADC2Temp, se usa como una función más de MATLAB, y su código es el siguiente:

```
function [ T_C, T_K ] = ADC2Temp(read)
% ADC2TEMP Recibe la lectura del ADC del modulo xBEE y la convierte a
temperatura.
% Recibe como parametro de entrada, la lectura del ADC y devuelve como salida la
temperatura en °C y en K para el sensor NTC dado.
    R_25C = 10*10^3;
    B = 4080;
    T_25 = 25 + 273;
    V_read = read*1.2/1023;
    R_T = (2200*3.3)/V_read-2000;
    T_C = 1./(((log(R_T/R_25C))/B)+(1/T_25))-273;
    T_K = 1./(((log(R_T/R_25C))/B)+(1/T_25));
end
```

Si se desea usar el mismo script, con un sensor NTC distinto, hay que variar el parámetro `R_25C` por el valor de la resistencia del NTC a 25°C, y el parámetro `B` por el proporcionado en el datasheet del elemento NTC.

2.2.8.5. Uso y configuración del script para la adquisición de datos

Se ofrecen dos opciones para la adquisición de los datos de la red ZigBee, la primera de ellas es mediante la ejecución directa del script en MATLAB y la segunda, mediante el ejecutable generado a través del MATLAB.

2.2.8.5.1. Mediante MATLAB

Solo es necesario ajustar un parámetro, que es el puerto serie asociado al módulo coordinador conectado al ordenador, que realizará la adquisición de datos.

Adicionalmente, se tiene control de la generación del fichero de depuración con la variable *DebugEnable*. Si esta variable toma el valor 1, el script generará un fichero adicional (debug.txt) que contendrá el frame de datos recibido sin decodificar.

2.2.8.5.2. Mediante el ejecutable generado

Una vez generado el ejecutable, con el puerto de serie asociado al coordinador configurado, tan solo es necesario abrir el ejecutable para que la adquisición de datos comience, sin necesidad de disponer de MATLAB instalado.

2.2.8.6. Interfaz gráfica

La interfaz gráfica realizada tendrá la capacidad de manejar todas las funciones programadas en el script e interpretar los datos obtenidos. La interfaz gráfica creada tiene una imagen principal

(ventana) y cinco imágenes para distintas acciones. A continuación, se describen las imágenes y su contenido.

- **Interfaz de usuario principal:** Dispone de capacidades de apertura y cierre de puerto a usar como coordinador, un panel de mensajes informativos y 5 botones para la llamada de distintas figuras (“Configuración”, “Lectura instantánea”, “Gestión de salidas”, “Histórico gráfico” y “Adquisición de datos”).
- **Configuración:** Dispone de opciones para gestionar todos los módulos masivamente o de forma individual. Tiene funciones para encender los LEDs, apagarlos, o hacerlos parpadear. Esta ventana es útil para identificar unos nodos de otros o conocer que nodos están correctamente unidos a la red ZigBee.
- **Lectura Instantánea:** Esta ventana tiene la capacidad de realizar un muestreo en tiempo real de un nodo, con el periodo de muestreo deseado. Incluye una capacidad para mostrar gráficos en tiempo real.
- **Gestión de salidas:** Es la ventana que le confiere la parte de domótica al proyecto, permitiendo al gestor de la red, activar y desactivar diversos dispositivos conectados a través de relés de forma totalmente remota. Se permite crear una máscara sobre los pines, gestionar de forma masiva el pin seleccionado de todos los módulos conectados a la red (activar, desactivar y conmutar tantas veces como se desee de forma automática) y gestión individual del pin seleccionado.
- **Histórico gráfico:** Permite la visualización gráfica de todos los datos recogidos por la estación meteorológica y la red de sensores.
- **Adquisición de datos:** Es la ventana que permite realizar la adquisición de datos. Tiene una opción para elegir si se desea generar el fichero de depuración o no (“Modo depuración”).

Todas las ventanas son gestionadas desde la principal, de tal forma que, si la ventana principal se cierra, se cierran todas las ventanas hijas, excepto la del histórico gráfico, puesto que es la única que no precisa del puerto serie del coordinador abierto para funcionar correctamente.

2.2.8.7. Acondicionamiento de señal del piranómetro

El piranómetro es un instrumento de radiometría que es capaz de medir la radiación global horizontal, es decir la radiación solar directa y difusa con un ángulo de visión de 180°. Esto involucra a toda la semiesfera situada sobre el plano horizontal del instrumento. Suelen ser instrumentos de precisión empleados fundamentalmente para la obtención de la radiación solar local incidente en un punto. Para este proyecto se ha empleado un piranómetro de la marca Kipp & Zonen, modelo CMP11. Se trata de un piranómetro Secondary Standard de alta precisión.



Figura 22. Piranómetro CMP11 de Kipp & Zonen empleado como instrumento de calibración

Los piranómetros suelen ser unos instrumentos pasivos, con una señal de salida muy baja, lo que requiere de un acondicionamiento de señal importante, que no provoque carga sobre el instrumento, que sea robusto e invariante con el tiempo y las condiciones externas. Por todo ello se diseña un amplificador operacional de instrumentación que nos permita trasladar la débil señal del piranómetro, cuya tensión máxima de salida esperada no supera los 30 mV, a una señal que pueda ser leída directamente por el ADC del módulo XBee que se encargará de enviar la información al ordenador de control. A continuación, se muestra el circuito asociado al amplificador del piranómetro y a todo el circuito auxiliar para la medición del piranómetro y alimentación de sus componentes.

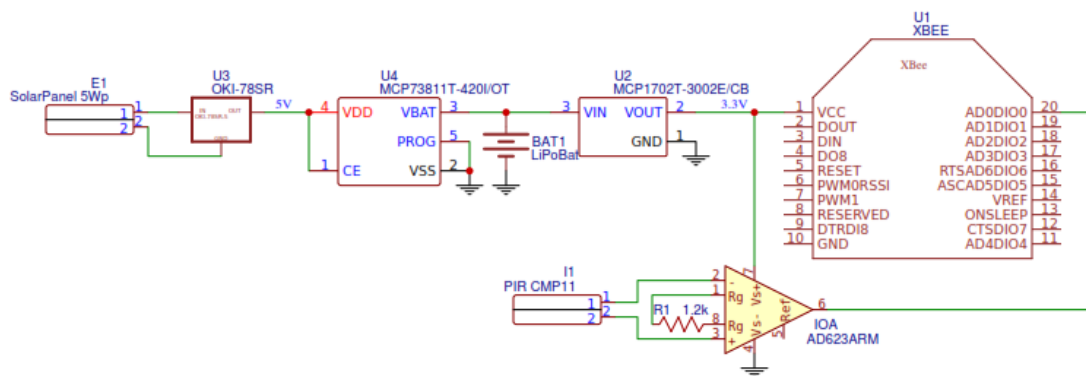


Figura 23. Diagrama electrónico del nodo de calibración

El circuito del amplificador de instrumentación también debe ser ensayado para comprobar que es lineal en todo el rango esperado, y en caso de que no lo sea, aplicar factores de corrección para eliminar esa no linealidad en la respuesta. A continuación, se muestra la gráfica de respuesta del acondicionador de señal, aunque parezca una recta teórica, se trata de una recta obtenida en laboratorio.

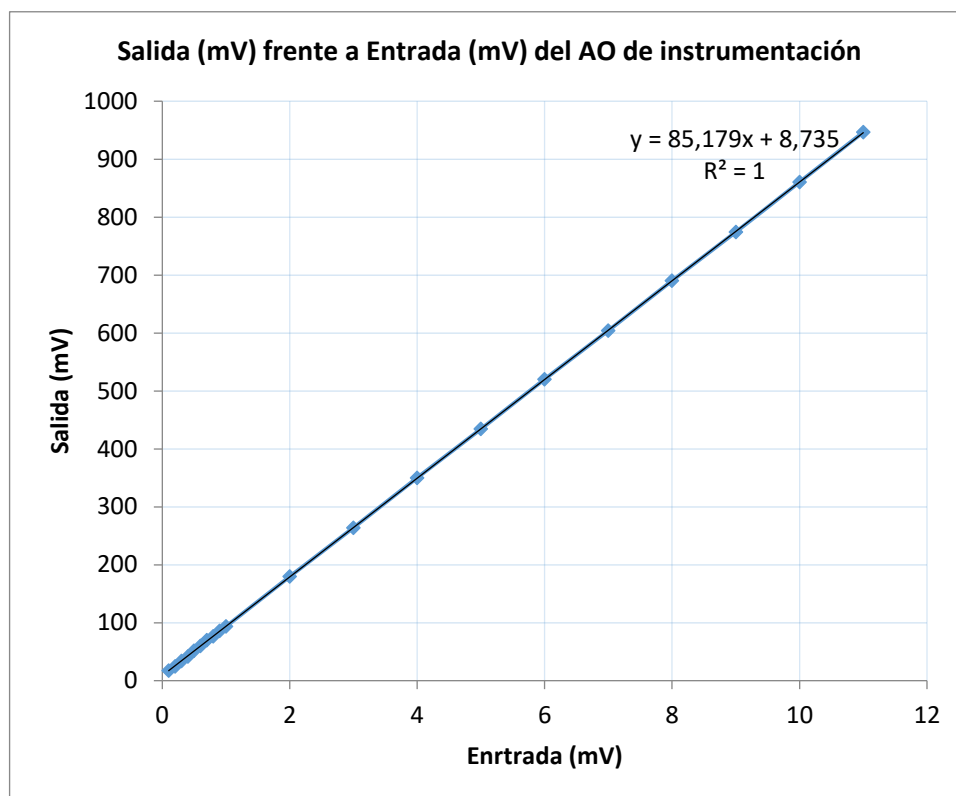


Figura 24. Respuesta del acondicionador de señal del piranómetro

2.2.8.8. Nodos. Hardware y montaje

Para el montaje de los nodos de medición se recomienda reproducir el circuito incluido en los planos de este documento. El circuito de los planos ha sido probado e implementando con los componentes que se indican en los mismos. En el caso particular de los nodos que actuarán como routers la PCB de sensores puede ser omitida, dejando las entradas del ADC sin conectar, de igual modo que se puede suprimir el MOSFET de canal N, puesto que este solo se encarga de controlar el suministro de energía a la PCB de sensores.

Para reducir los costes de las PCB se recomienda mandarlas a fabricar en Panel con V-score para su posterior separación, tal y como se muestra en la siguiente figura:

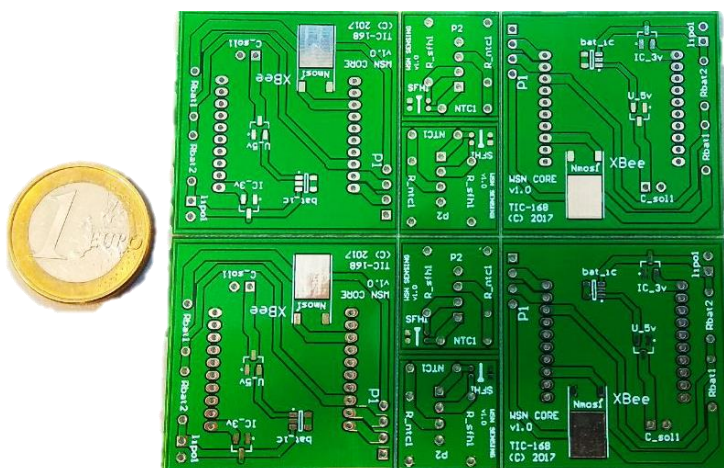


Figura 25. Panel de PCB recibido desde producción

El V-scoring permite la separación de las PCB de una forma simple. Cada panel incluye las PCBs necesarias para montar 4 módulos.

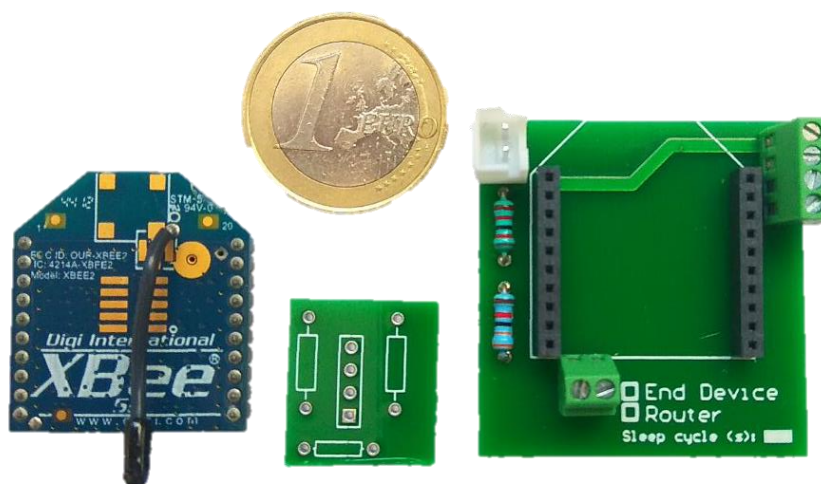


Figura 26. Módulo XBee S2, PCB de sensores y PCB principal, de izquierda a derecha.

La moneda de un euro se incluye en la fotografía para que sirva como referencia dimensional comparativa.

El Coordinador requiere de la PCB adjunta en los planos llamada “PCB Nodo Coordinador”, que solo requiere alimentación y comunicación por puerto serie.

A modo de referencia, los nodos físicos montados y usados durante el desarrollo de este proyecto tienen el siguiente aspecto físico:

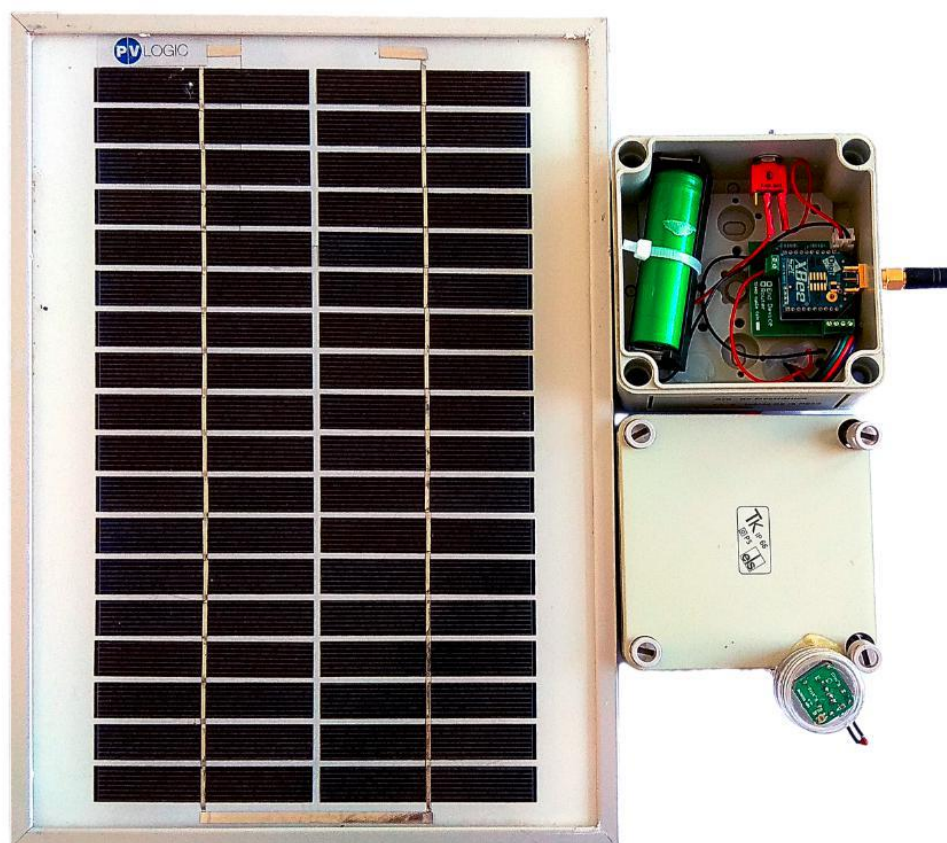


Figura 27. Aspecto físico de un nodo de medición con la caja abierta

En la figura anterior, se puede apreciar el panel solar a la izquierda y la electrónica a la derecha. La mayor parte de la electrónica se encuentra en una caja estanca con protección IP66, con los sensores, soldados en la PCB de sensores, se encuentran en una caja transparente sobre la tapa superior. La PCB de sensores tiene un aspecto como el de la siguiente imagen:



Figura 28. PCB de sensores.

Es muy recomendable, que una vez instalado los sensores en su caja exterior, sea sellado herméticamente a fin de evitar la entrada de agua y humedad, del mismo modo, se recomienda que la zona inferior de la caja de sensores, así como la caja estanca donde irán los componentes

principales, dispongan de un espacio destinado a contener gel de sílica, que eliminará la humedad residual y con ello la posible condensación.

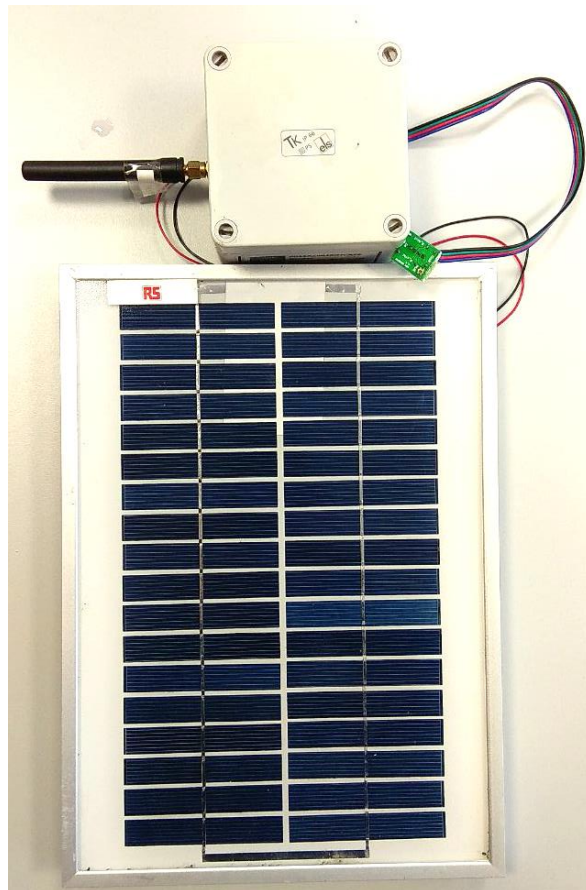


Figura 29. Aspecto físico de un nodo de medición

2.2.8.9. Autonomía de los nodos con baterías

Para optimizar la autonomía mediante batería de los nodos, se debe emplear un regulador que tenga pocas pérdidas para las condiciones de trabajo a emplear. Por ello se desaconseja totalmente la adaptación de tensión mediante elementos resistivos y reguladores lineales, teniendo preferencia por reguladores conmutados de alta eficiencia y bajo consumo en reposo.

Se empleará para la alimentación de los nodos, baterías con tecnología de litio, debido a su baja autodescarga, alto rendimiento y su casi nulo efecto memoria, acompañado de un regulador de tensión conmutado como se comentó anteriormente.

Este proyecto se ha presupuestado con baterías de iones de litio, en formato 18650 con una capacidad de 3000 mAh, con una tensión nominal de 3.7 V. Dicho acumulador es capaz de almacenar teóricamente, 11.1 Wh.

Puesto que los consumos de los datasheets suelen estar altamente desvirtuados por el sesgo que el fabricante quiera ofrecer de sus productos, se procede a analizar el consumo del módulo XBee durante el funcionamiento normal para el que ha sido diseñado en este proyecto. Para ello se requiere de un osciloscopio de al menos 2 canales, con alta tasa de muestreo y capacidad de realizar funciones matemáticas con ambos canales.

Para realizar esta medición, se coloca una sonda a modo de medición de corriente, con una resistencia shunt de $0.1\ \Omega$, y la otra como sonda de tensión de la alimentación, obteniéndose una representación como la siguiente figura:

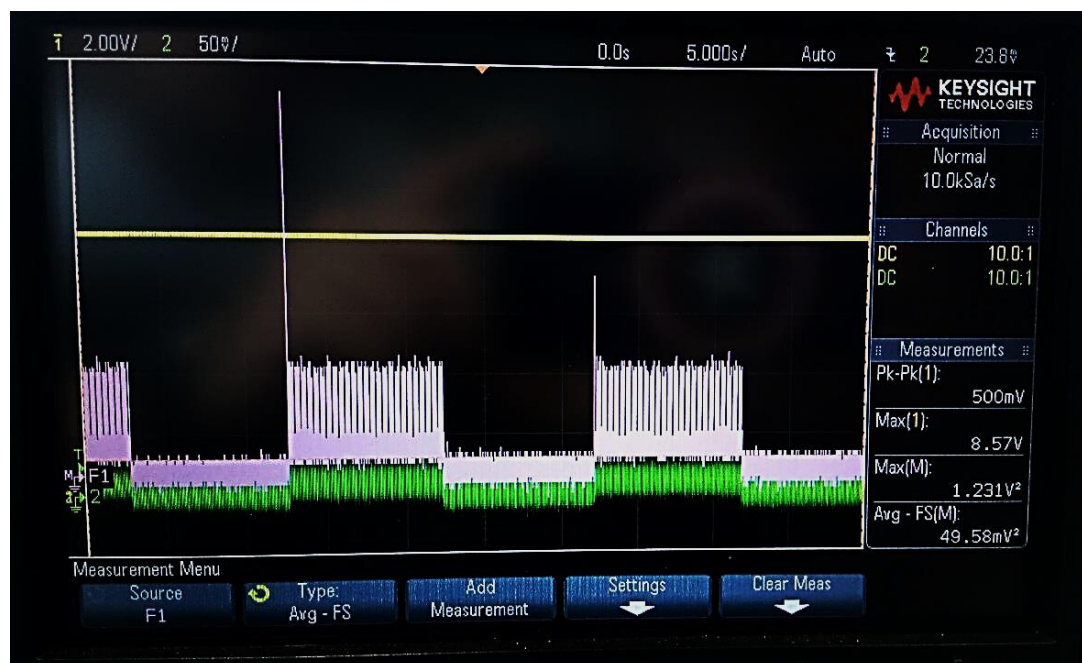


Figura 30. Análisis de consumo energético de un nodo para determinar su autonomía

Rápidamente se puede comprobar que la medición da un consumo promedio en funcionamiento en ciclos de medio segundo de 49.58 mW, que aproximaremos a 50 mW.

Con la información anteriormente detallada se puede estimar el tiempo de autonomía del nodo con la batería especificada como:

$$\text{autonomía (h)} = \frac{\text{Energía batería}}{\text{potencia nodo}} = \frac{11.1 \text{ Wh}}{0.050 \text{ W}} = 222 \text{ h} = 9.25 \text{ días}$$

Es decir, si el nodo puede funcionar de forma continua durante 9 días sin recibir energía del panel solar. Durante las pruebas realizadas, se ha comprobado que, de promedio, se requieren 3h de luz solar para cargar completamente las baterías mediante el panel solar, por lo que las necesidades energéticas están satisfechas hasta tal punto que solo es necesario realizar un cambio de batería cada 3-5 años debido al envejecimiento que presentan.

2.2.8.10. Calibración

2.2.8.10.1. Calibración del piranómetro.

A pesar de que el piranómetro es un instrumento de precisión, presenta un error en offset que puede llegar a ser de hasta 200 W/m². Uno de los métodos más usados para calibrar un piranómetro se basa en comparación con otros piranómetros. Para ello, se ha comparado los valores obtenidos del piranómetro con los valores proporcionada por la red de estaciones meteorológicas de la junta de Andalucía.

Para ello, se han analizado diversas estaciones, seleccionando aquellas que parecían estar ofreciendo datos más fiables. Se escoge varios días soleados que son los que presentan radiación solar más estables, y se ubica el piranómetro a calibrar cerca de la ubicación de de la estación de referencia.

Se procede de forma similar con el resto de estaciones meteorológicas de confianza. Con los datos obtenidos y mediante comparación se estima el error en offset, que debe ser fijo durante todo el periodo de monitorización. Una vez determinado, se puede aplicar dicho factor de corrección.

Se debe tener en cuenta también que el piranómetro de la estación meteorológica debe contar con un buen mantenimiento, ya que la suciedad de la cúpula puede afectar gravemente a la calidad de la medida, y por tanto a la referencia de calibración.

2.2.8.10.2. Calibración de las motas

La calibración es uno de los puntos mas delicado de este proyecto, ya que, si no se consigue una buena calibración el sistema deja de aceptable o válido para su propósito. Los sensores de iluminación usados, los SFH 5711, tienen un rango espectral comprendido entre 475 a 650 nm para el 90% de su respuesta, en cambio, el piranómetro, tiene un rango espectral comprendido entre 0 a 4000 W/m². El fundamento de esta calibración consiste en correlacionar la medida obtenida por el SFH 5711 con la irradiancia obtenida de la medida del piranómetro CMP11. Para comprobar si es posible o no establecer una calibración por correlación, se realizan pruebas físicas en la cubierta superior de la Escuela Politécnica Superior de Algeciras.



Figura 31. Configuración de la primera prueba experimental para verificar el método de calibración.

Nótese que, en el caso anterior, solo se involucran 7 nodos de medición y el piranómetro como patrón. Es una prueba a pequeña escala, pero suficiente para determinar si es posible obtener una correlación entre los instrumentos.

Estas pruebas determinaron que era posible obtener una correlación directa entre el piranómetro y los luxes medidos por el fotómetro

Debemos tener en cuenta que ambos instrumentos no tienen el mismo rango espectral de medición, por lo que es de esperar que la calibración no sea siempre válida, y en caso que esto ocurra, se plantea la hipótesis de que el rango espectral varía con las partículas que se encuentra la radiación solar antes de llegar a la tierra, actuando como un filtro no lineal y selectivo. Si se corroborara esta hipótesis, se plantea una calibración dinámica, variante con el paso del tiempo y durante el periodo de adquisición del sistema.

Esta hipótesis nos lleva a realizar pruebas para verificar si la correlación varía con el día, y en caso de producirse, si es despreciable el cambio o no. Para esta prueba se toman datos durante diversos días, en periodos de 30 minutos con 16 nodos de medición y el piranómetro a fin de generar una base de datos con alta variabilidad y poder corroborar la calibración. En la siguiente figura se muestra temporalmente como han evolucionado los valores en el tiempo durante los 6 periodos de adquisición que serán usados para la calibración.

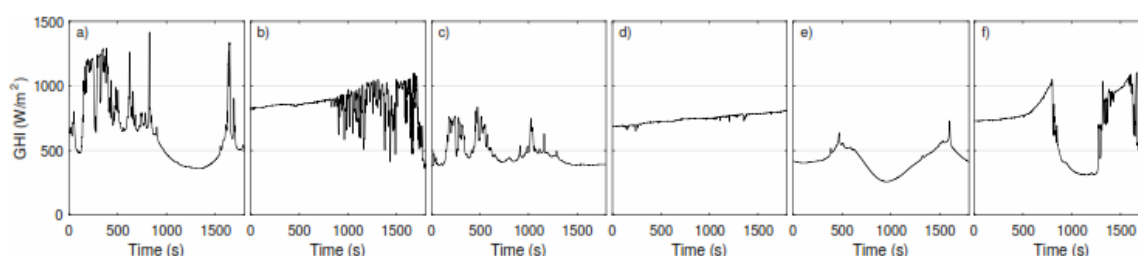


Figura 32. Muestra de datos del piranómetro empleadas para la calibración

La idea principal ahora reside en correlacionar estos datos con los obtenidos de los sensores de luz. Cabe destacar que el sensor de lux tiene una salida logarítmica, por lo que su salida debe corregirse a luxes estimados según indica la hoja de características. Una vez convertido el valor del ADC a luxes, se procede a correlacionar los luxes estimados con la radiación medida del piranómetro. En este proceso hay que tener varios detalles en cuenta, pero el principal reside en que no todos los sensores miden igual por diversos motivos: es raro encontrar dos sensores de luz con exactamente la misma respuesta, las resistencias empleadas para la medición difieren unas de otra dentro de su rango de tolerancia, los ADC no miden exactamente lo mismo, puesto que su referencia tampoco es exactamente la misma, y a todo esto hay que añadirle que el proceso de ensamblaje y soldado es manual, por lo que hay diferencias en las soldaduras y calidades. Todo esto nos lleva, a que dos nodos de sensores no van a percibir el mismo valor, y la diferencia entre un nodo y otro puede llegar a ser muy grande, puesto que, su salida es logarítmica. Esto nos lleva a calibrar cada nodo de medición de forma individual o, dicho de otro modo, cada nodo de medición tendrá una corrección específica para él. A continuación, se muestra algunos diagramas X-Y con la correlación realizada entre el piranómetro y la estimación de irradiación según los luxes de ese dispositivo.

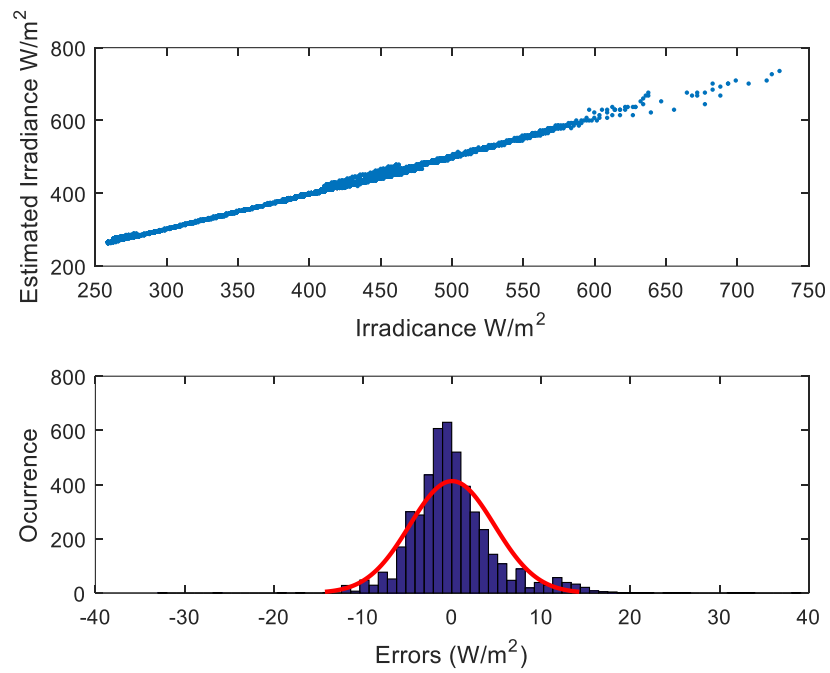


Figura 33. Irradiancia estimada frente a Irradiancia del piranómetro (arriba). Distribución de errores de la irradiancia estimada (abajo)

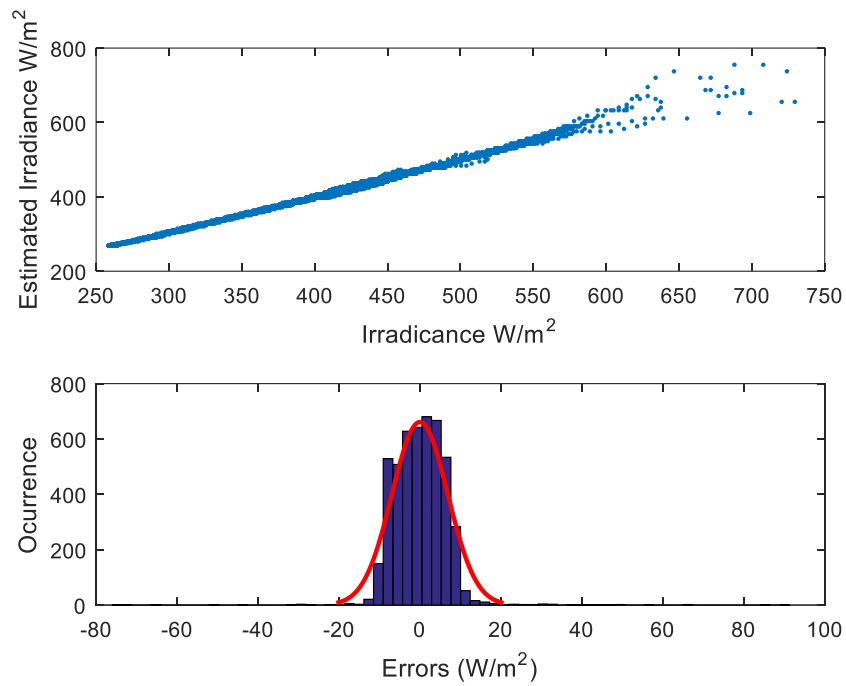


Figura 34. Irradiancia estimada frente a Irradiancia del piranómetro (arriba). Distribución de errores de la irradiancia estimada (abajo)

2.2.8.11. Tiempos de respuesta y gestión del mismo

El piranómetro presenta un tiempo de respuesta mucho más lento que el sensor de luz SFH 5711, hablamos de varios órdenes de magnitud de diferencia. El piranómetro CMP11 tiene un tiempo de respuesta del orden de segundos, según el fabricante, menor de 5 segundos y típicamente 1.6 segundos, en cambio, el sensor de luz SFH 5711 tiene un tiempo de respuesta máximo de 100 microsegundos, esta diferencia afecta a la calidad de la calibración, y aún no solventando esta particularidad durante la calibración, se obtienen calibraciones de muy buena calidad.

Para saber exactamente de que hablamos, se presenta la siguiente figura:

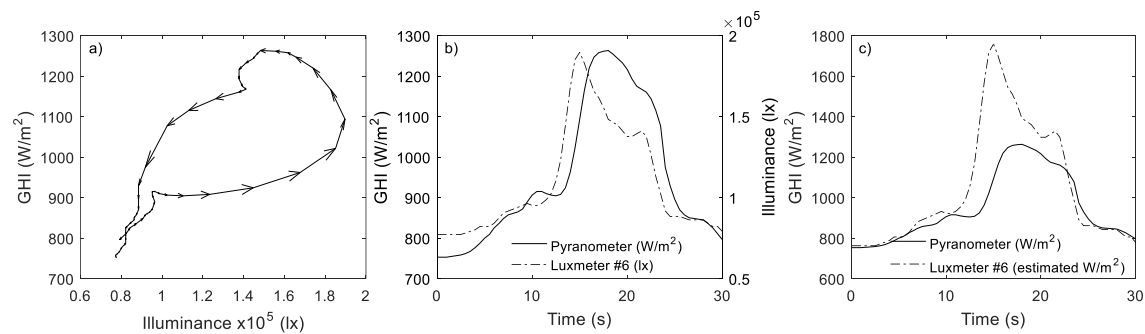


Figura 35. Efectos de los tiempos de respuesta

En la gráfica a) de la figura anterior se puede ver la trayectoria que realiza la representación en una gráfica X-Y del piranómetro frente al sensor de iluminación. Se puede notar que es un efecto de tiempo de respuesta, puesto que, partiendo del mismo punto, llegan al mismo punto, realizando una trayectoria curva. También se puede notar el efecto de los tiempos de respuesta en la gráfica b) de la figura anterior, donde los máximos, se ven que claramente están desplazados.

Por último, en la gráfica c), se observa que una vez correlacionado el sensor de luz con luxes, el pico que registra el sensor de luz es mucho más alto que el pico registrado por el sensor de luz. Este efecto es merecedor de un estudio mucho mas profundo, efecto conocido como *cloud enhancement*.

2.2.8.12. Breve introducción al *cloud enhancement*

Este efecto, conocido como *cloud enhacement*, se refiere a la sobre irradiancia que se registra durante un periodo de tiempo en momentos anteriores y posteriores al paso de una nube sobre la trayectoria de la irradiación solar directa. Este efecto que está siendo tendencia de numerosos estudios sobre radiación solar en los últimos años.

Este efecto se basa en que en los instantes antes y después de pasar una nube, en un intervalo de tiempo que puede durar desde milisegundos a algunos segundos, se produce una concentración de radiación solar que puede superar la radiación solar extraterrestre (unos 1350 W/m^2), es a esto a lo que se llama *cloud enhacement*, un efecto que en un principio induce a un pensamiento de error en instrumento, pero que ha sido registrado por numerosos investigadores independientes unos de otros.

Este efecto, como se vió en la figura 35 es difícil de registrar por un piranómetro, puesto que la duración de este efecto es mucho más corta que el tiempo de respuesta del piranómetro, por lo que el piranómetro actúa como un filtro paso bajo, convirtiéndose en “ciego” frente a este fenómeno. Se observa como la radiación registrada por el sensor de luz ronda 1800 W/m^2 de pico, mientras que el piranómetro no registró mas de 1300 W/m^2 .

Este efecto también es el responsable de fallos en muchos inversores en sistemas de generación fotovoltaica, puesto que la sobreirradiancia puede provocar y provoca defectos en los circuitos inversores. Por ello, se merece una atención más especial, puesto que provoca daños económicos en los sistemas de generación.

2.2.8.13. Solución de problemas presentados durante el desarrollo.

2.2.8.13.1. Gestión del búffer

La red de sensores que se ha diseñado tiene varios retos, al ser tan exigente con una red de bajo coste y consumo. Uno de los principales retos ha sido muestrear con una frecuencia de muestreo superior a una muestra por segundo de forma estable. Esto es así debido a que cada vez que se solicitaba el buffer, este se bloqueaba la recepción de nuevos frames, o provocaba la fragmentación y pérdida de información del último y primer paquete de los solicitados. Para ello se ha necesitado realizar una optimización enorme del sistema de lectura del buffer. El sistema más óptimo encontrado se basa en una lectura rápida y volcado a un segundo buffer virtual, para procesar este segundo buffer sin bloquear el primero, que es el que necesita el coordinador de la red para seguir recibiendo datos. El segundo buffer se procesa y se dejan en dicho buffer los fragmentos parcialmente recibidos para que, en la siguiente lectura del buffer principal, se lea la información que resta para completar dicho frame y poder procesarlo adecuadamente. Esto, si bien es cierto que introduce un pequeño retraso en el procesamiento, nos da una estabilidad que

compensa enormemente. El retraso introducido, es como máximo, el tiempo que pasa entre dos lecturas consecutivas del buffer principal, que en nuestro caso está ajustado a 20 ms.

Sin duda, esta es una de las mejoras que nos ha permitido bajar en situaciones, hasta una frecuencia de muestreo de hasta 5 Hz de forma estable durante un periodo de tiempo no muy extenso.

2.2.8.13.2. Ralentización de procesamiento

Se ha notado también, que a partir de los 30 minutos de adquisición había un incremento en el tiempo de procesamiento, por lo que se decidió estudiar esta evidencia a fin de esclarecer el motivo. El estudio que se realizó fue sencillo, pero ayudó enormemente a encontrar una solución simple y efectiva. En primer lugar, se estudió la evolución del tiempo de procesamiento necesario y el número de paquetes procesados en cada lectura. Como la cantidad de paquetes se mantenía siempre entre unos valores fijos, se centró el esfuerzo en estudiar la evolución del tiempo de procesamiento para una frecuencia de muestreo de 2 Hz, obteniéndose la siguiente figura:

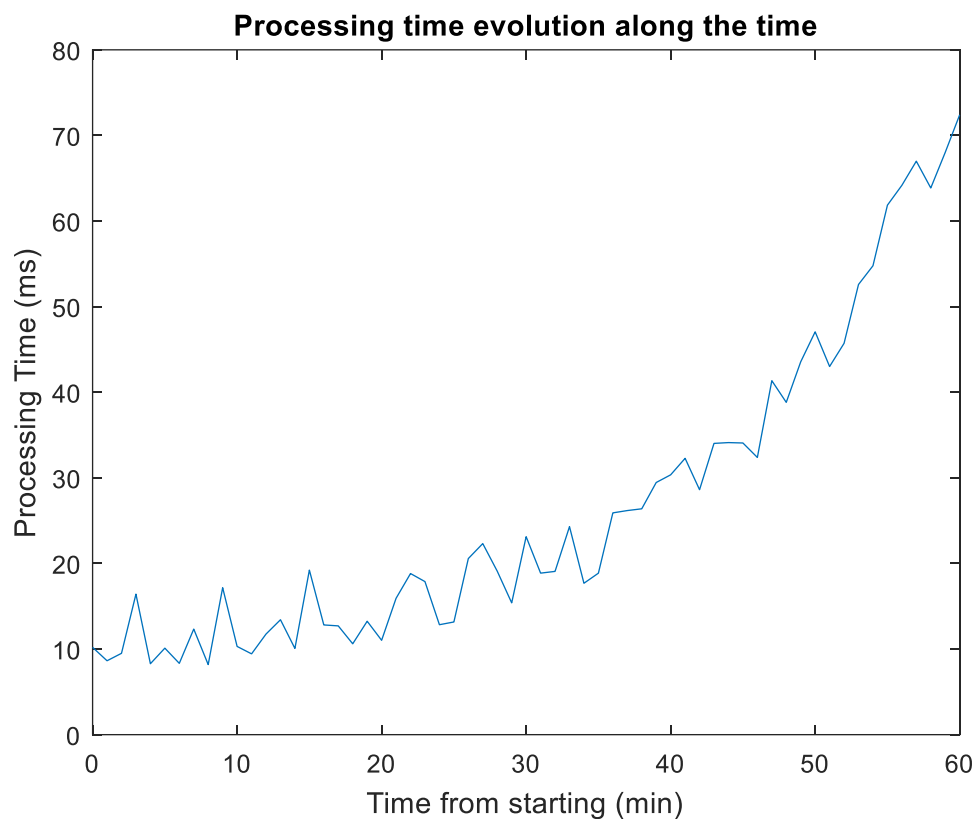


Figura 36. Evolución del tiempo de procesamiento a lo largo del tiempo de la adquisición

Se pueden observar unos picos cíclicos, que coinciden con el autoguardado. En un principio esto se justifica y se asume o se prescinde del autoguardado si es crucial ese tiempo de procesamiento extra. Pero ello no camufla ni justifica la subida creciente que presenta el tiempo de procesamiento, asociado, según se ha podido comprobar en pruebas empíricas al modo de guardar los datos, en una matriz creciente. La matriz que debe manejar MATLAB crece rápidamente, y a partir de los 30 minutos, comienza a hacerse pesada de manejar, para una frecuencia de 2 Hz y 16 nodos de medición. Esto nos lleva a tomar una solución basada en prescindir de guardar los datos en memoria para rápido acceso, volcando la matriz en el momento del autoguardado y eliminándola de memoria.

2.2.8.13.3. Reinserción de las motas en la red

Las diversas pruebas llevadas a cabo, en algunas ocasiones han llevado a expulsar a los nodos de la red donde se encontraban incluido. El procedimiento para reinsertar las motas no es complejo, pero no es trivial ni intuitivo, y requiere de un conocimiento profundo del sistema para descubrir como volver a reinsertar la mota sin fracasar ni perder demasiado tiempo, el cual se destalla a continuación:

Primero es necesario asegurarnos de que el parámetro DJ (disable joining) está a 0. Este parámetro no puede ser escrito con WR y se resetea cada ciclo de encendido. Posteriormente, se debe tomar un nodo de la red y leer los valores ID, SC, SD y EE:

Comando AT	Valor
ID	Valor del operating 64-bit PAN ID de la red. Establecer en 0 para permitir conectarse a cualquier red (no recomendado)
SC	El scan channel debe incluir al canal de la red a la que se desea (re)conectar. (Si CH es 0x0B, establece SC a 0x0001. Si CH es 0x17, establece SC a 0x1000)
SD	Scan duration. No es imprescindible, pero debería intentar que coincida con el de la red para aumentar la tasa de éxito.
EE	Enable Encryption. Para el caso de nuestra WSN este valor debe estar a 0.

Tabla 4. Parámetros imprescindibles para reinsertar un nodo

En caso de que el parámetro EE esté activo, dificultará enormemente reconexión de la mota, puesto que la encriptación es una capa de seguridad extra que además de añadir seguridad, dificulta la reinserción de la mota en la red.

Una vez configurado esto, el coordinador debe estar encendido. Posteriormente se debe ejecutar el comando AT NR 00 en el nodo a reinsertar para que encuentre la red y se conecte a ella. En caso de que el procedimiento falle, se debe realizar de nuevo. No suele llevar mas de 3 intentos para que la red acepte a la mota antigua dentro de la red.

En caso de que hayamos sufrido una desconexión de nodos masivos, podemos realizar del mismo modo una reinserción masiva. Para ello, se debe coger un dispositivo que esté fuera de la red ejecutar un frame del tipo “remote AT command” y forzar los valores de la tabla anterior,

estableciendo como dirección de destino 0xFFFF (dirección de broadcasting a todos los dispositivos). Posteriormente, usando también un frame del tipo “remote AT command” se hace un broadcasting con “NR 01” para obligar a todos los dispositivos a migrar a la red. Cuando todos los dispositivos hayan migrado, se debe ejecutar un AT command NR 00 para forzar el dispositivo que hemos utilizado para el broadcasting, a que migre a la red que nos interesa

2.2.8.13.4. Reemplazar o reinsertar un coordinador

En este caso la situación es algo mas complejo que la anterior, puesto que el coordinador ya de por si juega un papel crucial dentro de la red, por lo que no es fácil reemplazarlo, pero tampoco es una tarea imposible. El coordinador suele abandonar la red cuando recibe un flujo de información muy alto de tal forma que los paquetes que recibe, los recibe corruptos. Hay un parámetro dentro de los módulos que permite ajustar la tolerancia antes de la salida del coordinador. Dicho parámetro, viene por defecto establecido en 3, esto quiere decir que cuando el coordinador recibe 3 paquetes consecutivos que el coordinador no puede decodificar o los decodifica y están corruptos, el coordinador abandona la red estableciendo una nueva para el solo y dejando huérfanos al resto de nodos de la red. En el caso de las pruebas exigentes que hemos realizado, el coordinador ha abandonado en varias ocasiones la red, por lo que encontrar un procedimiento para reestablecerlo era una tarea necesaria, puesto que el tiempo empleado en volver a crear la nueva red era enorme. El procedimiento para reemplazarlo o reinsertar a un coordinador que haya abandonado es el siguiente:

Se debe coger un dispositivo que esté dentro de la red y leer los siguientes parámetros:

Comando AT	Descripción
OP	Operating 64-bit PAN ID
OI	Operating 16-bit PAN ID
CH	Operating Channel
ZS	Stack profile

Tabla 5. Parámetros a leer de un nodo de la red

Una vez leído, se le establecen los siguientes datos en dispositivo que queramos que actúe como coordinador de la red:

Comando AT	Valor
ID	Valor del operating 64-bit PAN ID

II	Inicial 16-bit PAN ID como operating 16-bit PAN ID leído
SC	Channel bitmask acorde a la red (CH). (Si CH es 0x0B, establece SC a 0x0001. Si CH es 0x17, establece SC a 0x1000)
ZS	Establece el Stack profile al ZS leído

Tabla 6. Parámetros imprescindibles para reemplazar un coordinador

Muy Importante: No se debe forzar la escritura en memoria con el comando AT WR, puesto que el dispositivo intentará cambiar el parámetro II si no es posible reinsertarse correctamente.

A veces, es necesario repetir el proceso varias veces hasta insertar correctamente el nuevo coordinador en la red. En la experiencia, no he necesitado en ninguna ocasión más de 3 intentos para conseguir con éxito establecer el nuevo coordinador.

2.2.8.13.5. Forzar una subtopología concreta.

En los primeros apartados del este documento, se han visto las topologías más comunes: estrella, árbol y mallada. Se esclareció que se optaría por la red de tipo malla por las numerosas ventajas que esta tiene sobre las otras para este tipo de redes de sensores. Pero se puede forzar una subtopología de tal forma que esta sea predominante, y que solo se altere si falla la ruta predominante. Esto se realiza para forzar una vía más rápida de comunicación, antes que una establecida de forma automática por el coordinador, que no tiene porque coincidir con la óptima.

A modo de aclarar un poco esto, se supone una red formada por 16 nodos de medición, 3 routers y un coordinador. Si se deja la red formarse automáticamente, habrá nodos que conecten directamente con el coordinador, routers que estarán sobre cargados y routers apenas cargados. Las pruebas realizadas durante el desarrollo del presente proyecto han determinado que la configuración óptima es una red mallada, con ruta predominante en forma de árbol con los routers igualmente cargados, como demostró la experiencia siguiente:

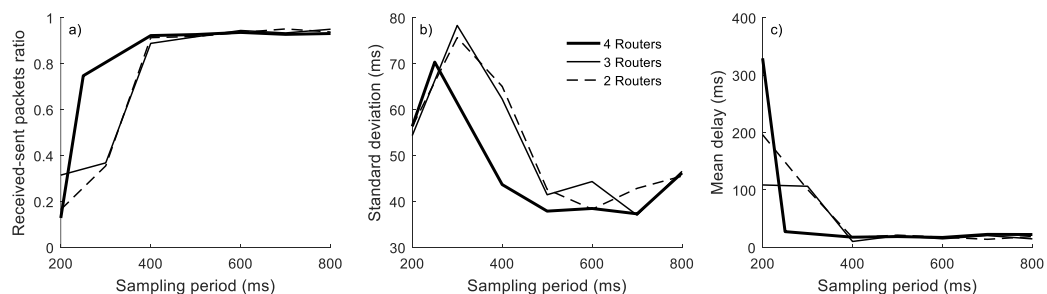


Figura 37. Pruebas de rendimiento de red bajo diversas condiciones

Para poder realizar esta subtopología se requiere realizar un procedimiento descubierto empíricamente y no descrito en ningún manual del fabricante. Dicho procedimiento consiste en forzar la configuración de la red mediante ingeniería inversa de algoritmo de establecimiento de configuración automática. Para conseguirlo, se debe encender primero un router y esperar a que sea reconocido por el coordinador, posteriormente, y con el router a una distancia mínima de 4 metros del coordinador, se debe proceder a encender los nodos de medición a una distancia muy cerca del router del que queramos que dependa, no más de medio metro. Una vez reconocida esta dependencia por el coordinador, se puede emplazar los nodos de medición y el router en su posición final. Se debe proceder de igual modo con el resto de routers y nodos.

Cabe destacar, que si por algún motivo, se pierde la comunicación de alguno de los enlaces, la red se auto reestructurará basándose en el nuevo enlace que crea de mayor calidad. Del mismo modo, el coordinador dispone de un parámetro, AR que es el encargado de estructurar de nuevo la red cada cierto tiempo, para evitar esto y conservar la subtopología forzada, se debe establecer este parámetro en 0.

2.2.8.13.6. El coordinador no encuentra los nodos

Este error se suele dar cuando las motas se han salido de la red, aunque puedan estar operando bajo el mismo PAN ID (ID), si el Operating 16-bit PAN ID no coincide con la del coordinador, los dispositivos no se verán. Para resolver este problema realice los pasos descritos en 2.2.8.13.3

2.2.8.13.7. La red presenta un histograma de recepción muy disperso

Existe una hipótesis basada en la experiencia del 31 de mayo de 2018, basada en que el coordinador de la red no es capaz de gestionar un volumen de información muy grande. Esto es, que si llega una “ola de información” al coordinador le cuesta mas gestionar la información que si la misma cantidad de información llega con un flujo más constante.

Como primera solución se puede probar a para la adquisición de los nodos que muestren mayor dispersión de los datos, y volver a solicitar la adquisición con automuestreo, pero ajustando uno a uno. Esta solución ha funcionado en todos los casos que ha sido necesario aplicarla, aunque en algunas ocasiones ha sido necesario repetir el proceso varias veces.

También parece que queda demostrado que múltiples lecturas del buffer bloquean la recepción de datos, por lo que el script “handle_serial” inicial crearía una dispersión que estaría desvirtuando la realidad de los histogramas de recepción.

2.2.8.13.8. Las mediciones de los sensores no tienen apenas precisión

Se puede dar el caso de que las mediciones estén muy desvirtuadas, dando unos valores muy bajos, pero dependientes de la radiación, y en otros casos unos valores saturados al máximo. En ambos casos, se debe a un error en las PCB o algún cortocircuito, ya sea por humedad, mal ensamblaje o por deterioro. En primera instancia se recomienda un análisis visual por algún experto en electrónica que sea capaz de detectar fallos visibles y en caso de no detectar fallo, se recomienda el reemplazo del XBee para determinar que este no tenga un problema en su conversor Analógico-Digital. Si no existe problema en el módulo XBee, se recomienda el reemplazo de las dos PCB por una nueva. Este procedimiento es el más rápido, económico y efectivo.

A modo de referencia, un nodo medición debe presentar un histograma de distribución de errores similar al siguiente, en el intervalo de 400 a 1200 W/m²:

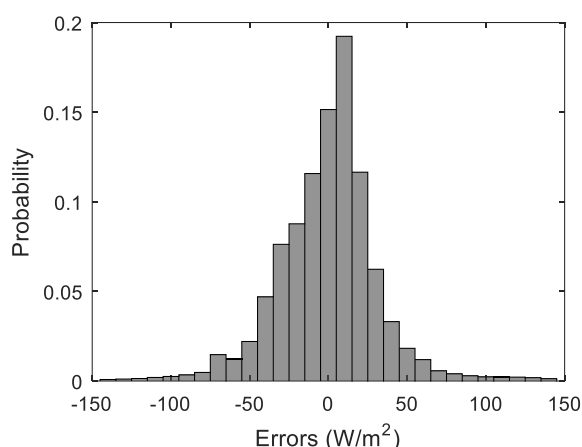


Figura 38. Distribución de errores típica para un nodo de medición

2.2.8.13.9. “Route Record Indicator” en la ventana de comandos

Esta función ha sido implementada para hacer saber al operario que la red está enviando comandos “Router Record Indicator”. Este paquete no favorece para nada al funcionamiento de la red cuando se le exige operar en alto rendimiento, por lo que aparecerá continuamente esta indicación en la ventana de comandos hasta que el indicador sea desactivado. Este indicador se puede activar automáticamente en el coordinador debido a una mala desconexión del software XCTU. Para desactivarlo, debe abrir de nuevo el software XCTU, conectarse al coordinador y establecer el parámetro AR en 0xFF. Después de este cambio, escriba en memoria del módulo y el mensaje debería desaparecer de la consola.

2.2.8.13.10. El piranómetro presenta unas medidas erróneas

La señal del piranómetro es una señal realmente débil, ya que cuenta con una sensibilidad de tan solo $7.66 \mu\text{V/W/m}^2$, según la carta de calibración de nuestro instrumento. Esta señal no es medible con el ADC del módulo XBee, por lo que se requiere de un circuito amplificador en configuración diferencial y protección frente a interferencias electromagnéticas. Es un circuito realmente delicado a la vez que interesante desde el punto de vista electrónico, puesto que se deben tener en cuenta muchos conceptos como el rechazo al modo común, compensación diferencial, estabilidad térmica y temporal, amplificadores operaciones y el concepto de ganancia por ancho de banda de los amplificadores.

El circuito que requiere este sensor es también llamado amplificador de instrumentación y está implementado en la inmensa mayoría de circuitos que requieren amplificación con precisión como pueden ser los dispositivos de electrocardiogramas médicos o analizadores de antenas.

Por todo esto, a pesar de que el circuito es bastante estable a nivel electrónico, el degradamiento de sus componentes, así como la mala conservación de los mismos pueden producir fallas en su funcionamiento. Por ello, si el piranómetro está dando valores erróneos, se debe proceder a la inspección por parte de un técnico cualificado en electrónica del amplificador de instrumentación diseñado para este sistema.

En este caso, para diseñar el amplificador de instrumentación se emplea el encapsulado AD623. El circuito está acondicionado de tal forma, que a la máxima salida esperada del instrumento (10mV), se pueda acondicionar a 0.7V, tensión levemente superior a la mitad de la tensión máxima que puede ser leída por el ADC del XBee (1,20 V). La resistencia de ganancia es de 5.6kΩ. La alimentación del circuito estaba definida en +3.3V, proveniente de la regulación estable de la PCB principal. A modo esclarecedor se muestra el siguiente diagrama de conexión eléctrica del nodo de calibración.

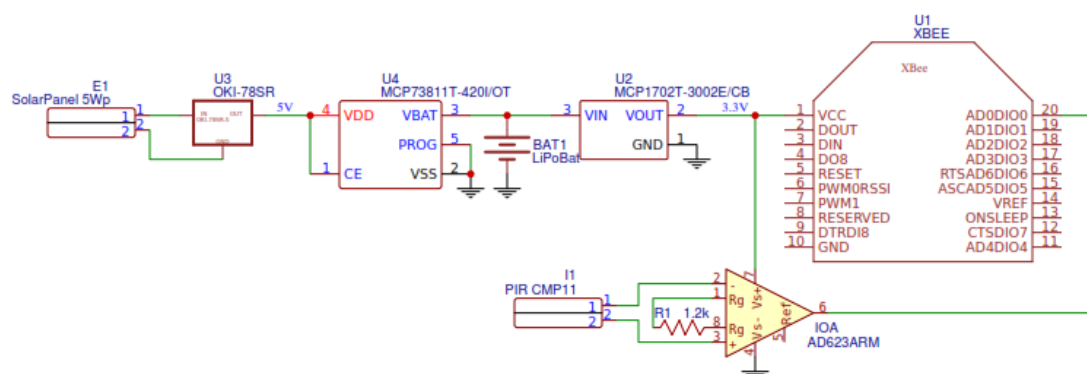


Figura 39. Circuito de medición y amplificador de instrumentación para el piranómetro

A modo de referencia también se incluye la respuesta del amplificador operacional diseñado para el piranómetro, a pesar de parecer una respuesta teórica, se trata de una respuesta experimental obtenida en laboratorio:

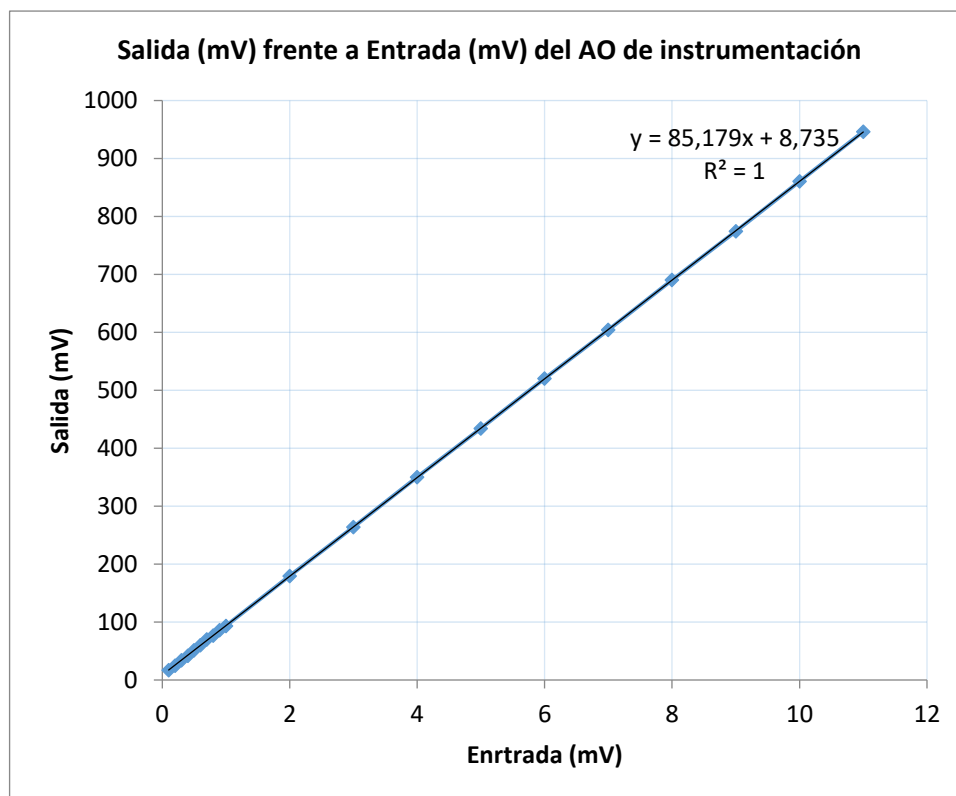


Figura 40. Respuesta del amplificador de instrumentación diseñado para el piranómetro

2.2.9. Aportaciones científicas

Durante el desarrollo de este proyecto se han realizado diversas aportaciones científicas, desde publicaciones en revistas de divulgación científicas, conferencias nacionales e internacionales y publicaciones en revistas JCR.

2.2.9.1. Datos de identificación del investigador

Nombre	Manuel Jesús
Apellidos	Espinosa Gavira
Fecha de	16/05/1991

nacimiento			
Género	Hombre		
Nacionalidad	España		
País de nacimiento	España		
Región	Andalucía		
Provincia	Cádiz		
Tipo de documento	DNI	Documento de identidad	15430855V
Teléfono	657474255	Móvil	657474255
Email	manuel.espinosa@uca.es		
Web personal			

2.2.9.2. Producción y actividad científica del investigador

2.2.9.2.1. Publicaciones en Revistas

1. Título: Uso del modo API para ganar flexibilidad en redes de sensores inalámbricas.

Aplicación a la monitorización energética

Revista: Automática e Instrumentación

Año: 2017

Volumen:

Número: 497

Página inicial: 57

Página final: 64

Autores: Espinosa-Gavira, M. J.; Jiménez, Álvaro; González-De La Rosa, Juan José; Agüera-Pérez, Agustín; Florencias, Olivia; Palomares-Salas, José Carlos

Índice de impacto (ISI):

Índice de impacto (SCImago):

Cuartil (SCImago):

2. Título: REAL-LIFE POWER QUALITY SAGS

Revista: IEEE Transactions on Signal Processing

Año: 2017

Volumen: 1

Número: 1

Página inicial: 1

Página final: 18

Autores: Florencias, Olivia; Espinosa-Gavira, M. J.; González-De La Rosa, Juan José; Agüera-Pérez, Agustín; Palomares-Salas, José Carlos; Sierra-Fernández, Jose María

Índice de impacto (ISI): 4.203

Índice de impacto (SCImago):

Cuartil (SCImago):

3. Título: REAL-LIFE POWER QUALITY TRANSIENTS

Revista: IEEE Transactions on Signal Processing

Año: 2017

Volumen: 2

Número: 1

Página inicial: 5

Página final: 7

Autores: Florencias, Olivia; González-De La Rosa, Juan José; Agüera-Pérez, Agustín; Palomares-Salas, José Carlos; Espinosa-Gavira, M. J.; Sierra-Fernández, Jose María

Índice de impacto (ISI): 4.203

Índice de impacto (SCImago):

Cuartil (SCImago):

4. Título: AN ON-LINE LOW-COST IRRADIANCE MONITORING NETWORK WITH SUB-SECOND SAMPLING FOR VERY SHORT-TERM SOLAR FORECASTS

Revista: Sensors, MDPI JOURNAL

Año: 2018. CURRENTLY IN REVISION

Volumen:

Número: -

Página inicial: -

Página final: -

Autores: Manuel Jesús Espinosa-Gavira, Agustín Agüera-Pérez; Juan José González De La Rosa, José Carlos Palomares-Salas and José María Sierra-Fernández

Índice de impacto (ISI):

Índice de impacto (SCImago):

Cuartil (SCImago): Q2

2.2.9.2.2. Becas y Reconocimientos

Título: Premio para Estudiantes Universitarios ISA España 2017

Fecha concesión: 29/05/2017

Entidad: International Society of Automation

Cuántía concedida: 450

Rol: Obtentor

Ámbito: Nacional

2.2.9.2.3. Aportaciones a Congresos, etc.

1. Título de la aportación: Mejora de la flexibilidad de redes de sensores inalámbricas mediante

el uso del modo API. Una aplicación en monitorización ambiental

Nombre del congreso: Seminario Anual de Automática, Electrónica Industrial e Instrumentación

Tipo de evento: Ponencia en Congreso

Ámbito: Nacional

Año: 04/06/2018 - 06/06/2018

Lugar: BARCELONA

Autores: Espinosa-Gavira, M. J.; Jiménez, Álvaro; González-De La Rosa, Juan José; Agüera-Pérez, Agustín; Florencias, Olivia; Palomares-Salas, José Carlos; Sierra-Fernández, Jose María

1. **Título de la aportación:** Improving flexibility in Wireless Sensor Networks via API. An application in ambient monitoring

Nombre del congreso: NTMS: New Technologies, Mobility and Security

Tipo de evento: Ponencia en Congreso

Ámbito: Internacional

Año: 26/02/2018 - 28/02/2018

Lugar: París, Francia

Autores: Espinosa-Gavira, M. J.; Jiménez, Álvaro; González-De La Rosa, Juan José; Agüera-Pérez, Agustín; Florencias, Olivia; Palomares-Salas, José Carlos; Sierra-Fernández, Jose María

5. **Título de la aportación:** I Jornadas Doctorales Específicas del Programa de Doctorado

Nombre del congreso: I Jornadas Doctorales Específicas del programa de doctorado

Tipo de evento: Comunicación en Jornada

Ámbito: Autonómica

Año: 13/12/2017 - 13/12/2017

Lugar: ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ALGECIRAS

Autores: Espinosa-Gavira, M. J.; Jiménez, Álvaro; Agüera-Pérez, Agustín; González-De La Rosa, Juan José; Florencias, Olivia; Palomares-Salas, José Carlos; Sierra-Fernández, Jose María

6. **Título de la aportación:** I Jornadas Doctorales Específicas del Programa de Doctorado

Nombre del congreso: I Jornadas Doctorales Específicas del programa de doctorado

Tipo de evento: Comunicación en Jornada

Ámbito: Autonómica

Año: 13/12/2017 - 13/12/2017

Lugar: ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ALGECIRAS

Autores: Espinosa-Gavira, M. J.; Jiménez, Álvaro; Agüera-Pérez, Agustín; González-De La Rosa, Juan José; Florencias, Olivia; Palomares-Salas, José Carlos; Sierra-Fernández, Jose María

2.2.9.2.4. Propiedad Industrial e Intelectual

Nombre: Procedimiento y sistema de análisis de calidad de la energía e índice de calidad 2S2PQ, caracterización de la señal en un punto del suministro eléctrico.

Tipo: Patente de invención, Secreto empresarial

Número de patente:

Fecha de concesión: 30/10/17

Instituciones:**Tipo de protección:** Nacional**Autores:** Agüera-Pérez, Agustín; González-De La Rosa, Juan José; Florencias, Olivia; Palomares-Salas, José Carlos; Espinosa-Gavira, M. J.; Jiménez, Álvaro; Sierra-Fernández, Jose María**2.2.9.2.5. Proyectos I+D+i y Ayudas****Proyecto:** 9th IFIP International Conference on New Technologies, Mobility & Security. (NTMS18)**Código:** MV2018-001**Ámbito del proyecto:** Autonómica**Programa financiador:** Plan Propio UCA - Ayudas para Asistencia a Congresos Científicos**Entidad financiadora:** UNIVERSIDAD DE CÁDIZ - VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN**Responsable:** Espinosa-Gavira, M. J.**Fecha inicio:** 26/01/2018**Fecha fin:** 28/01/2018**Cuantía total (EUROS):** 1000**2.2.10. Planificación**

La planificación que se presenta a continuación, es para la configuración y adaptación de 20 nodos, con un sensor de temperatura, otro de luz y 3 actuadores por nodo, y un módulo de coordinador, suponiendo una modificación leve del código para adaptarse a las necesidades del cliente.

En el apartado de pedidos de materiales, se contempla algunos materiales de repuesto por si ocurre algún error durante el montaje y se daña alguno de ellos.

A continuación se muestra la lista de tareas para la ejecución del proyecto, junto con el diagrama de Gantt:

Id	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras
1	Red inalámbrica de sensores para la monitorización de espacios con objeto de la mejora de la eficiencia energética	22 días	lun 31/10/16	vie 29/11/16	
2	Materiales	10 días	lun 31/10/16	vie 11/11/16	
3	Pedido de materiales	1 día	lun 31/10/16	lun 31/10/16	
4	Recepción de materiales necesarios	9 días	mar 01/11/16	vie 11/11/16	3
5	Desarrollo del script de gestión	14 días	vie 04/11/16	vie 11/11/16	
6	Adaptación del proyecto a las necesidades del cliente	7 días	vie 04/11/16	vie 11/11/16	18
7	Implementación de funciones según necesidades	7 días	vie 04/11/16	vie 11/11/16	6
8	Configuración de los módulos Xbee	1 día	jue 24/11/16	jue 24/11/16	5

9	Configuración de la Red ZigBee	1 hora	jue 24/11/16	jue 24/11/16	4
10	Configuración del direccionamiento	1 hora	jue 24/11/16	jue 24/11/16	9
11	Configuración de la interfaz RF	1 hora	jue 24/11/16	jue 24/11/16	10
12	Configuración de la seguridad	2 horas	jue 24/11/16	jue 24/11/16	11
13	Configuración de la interfaz serie	1 hora	jue 24/11/16	jue 24/11/16	12
14	Configuración de las entradas y salidas	1 hora	jue 24/11/16	jue 24/11/16	13
15	Configuración de muestreo automático	1 hora	jue 24/11/16	jue 24/11/16	14
16	Diseño físico	10 días	mar 01/11/16	lun 14/11/16	
17	Diseño de los sensores	1 día	mar 01/11/16	mar 01/11/16	3

18	Diseño de la placa de circuito impreso (PCB)	2 días	mié 02/11/16	jue 03/11/16	17
19	Recepción de placas de circuito impreso	7 días	vie 04/11/16	lun 14/11/16	18
20	Montaje completo del sistema embebido	2 días	jue 24/11/16	vie 25/11/16	19;5
21	Soldadura de componentes	1 día	jue 24/11/16	jue 24/11/16	19
22	Verificación del montaje	1 día	vie 25/11/16	vie 25/11/16	21
23	Pruebas finales	2 días	jue 28/11/16	vie 29/11/16	20
24	Calibración de los sensores	1 día	lun 28/11/16	lun 28/11/16	22
25	Prueba de funcionamiento en campo	1 día	mar 29/11/16	mar 29/11/16	24
26	Entrega del proyecto	0 días	mar 29/11/16	mar 29/11/16	23;20;16;8;5;2

Tabla 7. Tabla de tareas del diagrama de Gantt

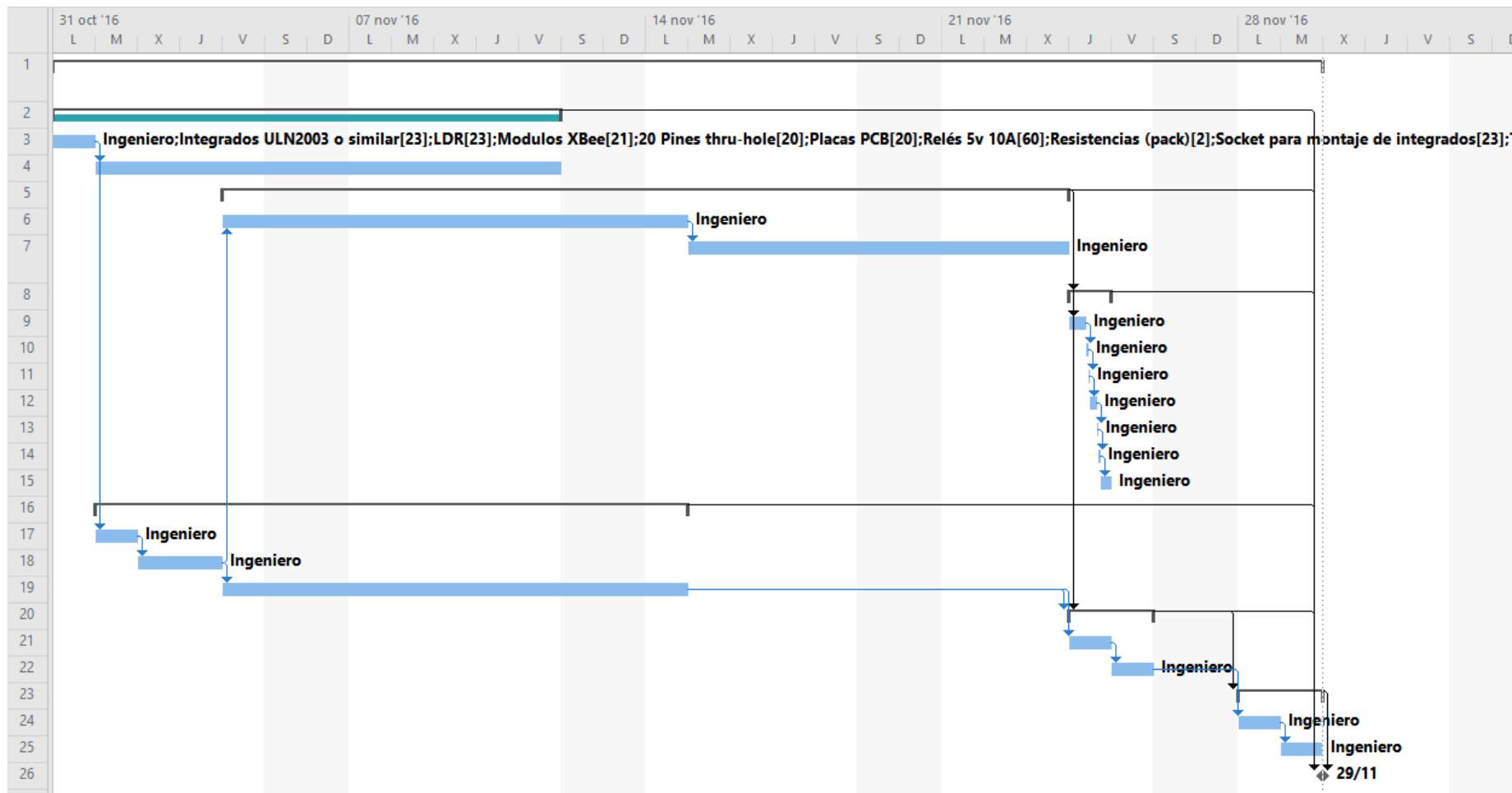


Figura 41. Diagrama de Gantt

2.2.11. Orden de prioridad entre documentos

En este apartado se establecerá la prioridad entre los documentos básicos de proyecto.

1. Planos
2. Memoria
3. Anexos
4. Presupuesto
5. Pliego de condiciones

3. ANEXOS

3.1. Generalidades

Los documentos, cálculos y datos que se han tenido en cuenta para el desarrollo de este proyecto y su prototipo, están recogidos en este apartado. También se recoge un breve manual de usuario desarrollado para el uso de la red.

3.2. Cálculos

3.2.1. Cálculo de la resistencia del NTC en función de la temperatura

Debemos conocer, al menos, los siguientes parámetros del NTC:

- Resistencia a una temperatura dada: Normalmente se ofrece la resistencia del NTC a 25°C. $R@25^{\circ}\text{C}$, $R@298\text{K}$.
- Coeficiente de temperatura a una temperatura dada (α) o Temperatura Característica del material ($B \in [2000, 5000]\text{K}$)

A continuación, se detalla el cálculo realizado para el uso de un sensor NTC **ND03N00103K**, que ha sido el usado en el prototipo.

Del elemento anteriormente referenciado, se obtienen los siguientes datos de interés.

Especificaciones NTC ND03N00103K
Resistencia@25°C = 10 kΩ
B(K)=4080
$\Delta B/B = \pm 3\%$
$\alpha@25^{\circ}\text{C} = -4.6 \text{ } \%/^{\circ}\text{C}$

Tabla 8. Especificaciones NTC ND03N00103K

$$R(T(^{\circ}\text{C})) = R_{273+T_0(^{\circ}\text{C})} \cdot e^{B \cdot \left(\frac{1}{T(^{\circ}\text{C})+273} - \frac{1}{273+T_0(^{\circ}\text{C})} \right)}$$

Como se observa de la ecuación anterior, no existe una relación lineal entre la temperatura y el valor de la resistencia, por lo que es recomendable sacar la curva característica o despejar la temperatura en función de la resistencia.

A continuación, se muestra como obtener la curva característica del termistor NTC antes descrita para el rango de temperaturas desde -5°C a 50°C, que son las condiciones extremas de trabajo esperado.

Se puede usar el siguiente script de MATLAB editando los parámetros correspondientes.

```
%NTC Calc
clear;clc;
T = -5:1:50;
R_25C = 10*10^3;
B = 4080;
alpha_25C = -4.6;
T_25 = 25 + 273;
R = R_25C.*exp(B.*(1./(T+273)-1/T_25));

plot(T,R)
ylabel('Resistencia (\Omega)')
xlabel('Temperatura (°C)')
title('R vs T')
axis tight
grid on

R(1)
R(end)
```


Obteniendo la siguiente gráfica:

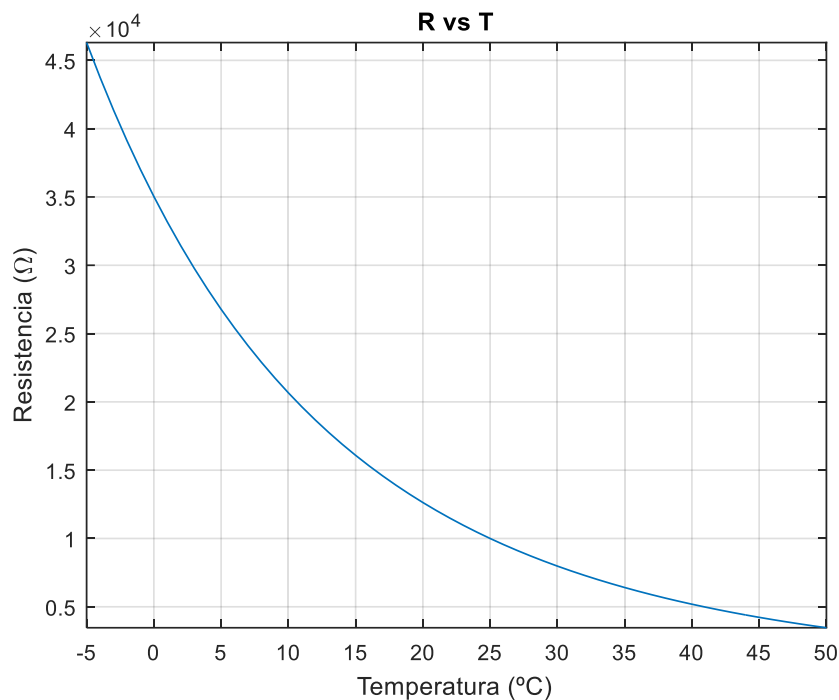


Figura 42. Gráfico de resistencia frente a temperatura del NTC seleccionado

La ventana de comando de MATLAB informa, con las dos últimas líneas del script, de la resistencia máxima y mínima esperada del NTC en el rango de temperaturas evaluado, que en este caso son:

$$R_{m\acute{a}x} \approx 46.3 \text{ k}\Omega \text{ y } R_{m\acute{i}n} \approx 3.5 \text{ k}\Omega$$

3.2.2. Cálculo del divisor de tensión del termistor

El divisor de tensión para el termistor NTC se hará igualmente, atendiendo a la tensión máxima admisible en el ADC y a la tipología usada.

La fórmula a emplear para el cálculo de la resistencia mínima es:

$$R_{min} = \frac{R_{NTCmin} \cdot V_{ref}}{V_{max(ADC)}} - R_{NTCmin}$$

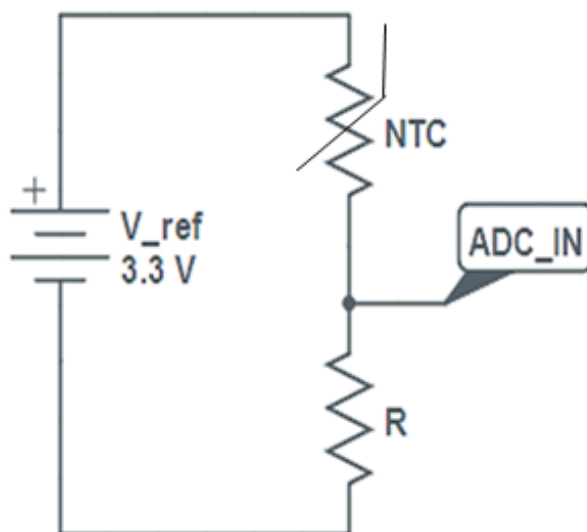


Figura 43. Topología empleada para el sensor de temperatura

Para el cálculo anterior se ha supuesto una topología como la figura anterior, siendo:

- $R_{NTC_{min}}$: Resistencia mínima del NTC en condiciones extremas de T^a .
- V_{ref} : Tensión de alimentación del divisor de tensión (3.3V típico).
- $V_{max(ADC)}$: Tensión máxima del ADC sin saturarse.

Ejemplo de aplicación:

$$V_{ref} = 3.3V; V_{max(ADC)} = 1.2V; R_{NTC_{min}} = 1 \cdot 10^6 \Omega$$

$$R_{min_{recomendada}}(\Omega) = \frac{10^6 \Omega \cdot 3.3V}{1.2V} - 10^6 \Omega = 1.75 \cdot 10^6 \Omega$$

Nota: Si se desea cambiar la resistencia de ajuste con el elemento sensor, en lugar de usar $R_{NTC_{min}}$ se debe usar $R_{NTC_{max}}$.

Nota: El valor de la resistencia de ajuste se debe indicar en el fichero ADC2Temp, así como las características del NTC empleado.

Si se desea usar otra topología o método de funcionamiento, se puede realizar, pero dichos cambios son responsabilidad exclusiva del director del proyecto.

3.2.3. Sección del conductor

La sección mínima del cable a usar será la que garantice unas condiciones de una máxima caída de tensión de alimentación (V_{ref}) del 0.5% o un cuanto de la discretización del ADC.

La fórmula a emplear es la siguiente:

$$S(mm^2) = \frac{2 \cdot L \cdot I}{K \cdot \Delta V}$$

donde:

- S es la sección.
- L es la longitud del cable en metros.
- I es la intensidad que circulará por el cable, en amperios.
- K es la constante de conductividad del cable (56 para el cobre).
- ΔV es la caída de tensión en voltios.

Se recomienda una sección mínima de 0.040 mm^2 , por criterios de rigidez del cable.

Ejemplo de aplicación:

$$V_{ref} = 3.3V; \text{bits ADC} = 10(2^{10} \text{ estados}); V_{\max(ADC)} = 1.2V; L = 0.10 \text{ m.}$$

$$\Delta V(0.5\%) = V_{ref} \cdot \frac{0.5}{100} = 0.0165 \text{ V}$$

$$\Delta V(1 \text{ cuanto ADC}) = \frac{V_{\max(ADC)}}{2^{10}} = 0.001171 \text{ V}$$

$$I = \frac{V_{ref}}{R_{equivalente}} \approx \frac{3.3V}{2.75 \cdot 10^6 \Omega} = 1.2 \cdot 10^{-6} \text{ A}$$

$$S(mm^2) = \frac{2 \cdot 0.10 \cdot 1.2 \cdot 10^{-6}}{56 \cdot 0.001171} = 3.66 \cdot 10^{-6} mm^2$$

$$S(mm^2) < 0.040 mm^2 \rightarrow S_{escogida}(mm^2) = 0.040 mm^2$$

3.3. Scripts de gestión

3.3.1. Dependencia de los Scripts de adquisición

A continuación, se detalla gráfica y brevemente la relación entre los distintos scripts de MATLAB, así como las llamadas a funciones.

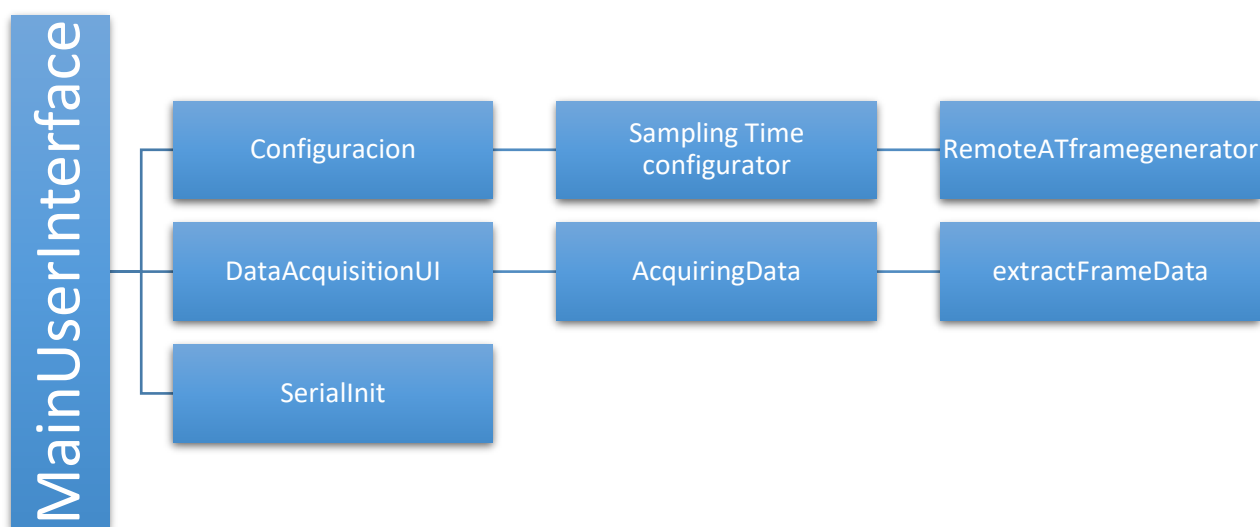


Figura 44. Dependencia de los Scripts de gestión

3.3.2. Código fuente de los scripts

A fin de no extender el proyecto en cantidad de páginas, se entrega el código fuente en el soporte digital, ya que es un medio mas apropiado para visualizar y modificar dichos ficheros.

3.4. Breve guía para el uso de la aplicación gráfica de usuario

La interfaz de usuario es el software que permite al operador gestionar la red de sensores. Se ha prestado especial cuidado a la interfaz de usuario para hacerla sencilla, funcional e intuitiva.

Los únicos requisitos para gestionar la red de sensores son:

- 1) Coordinador de la red conectado mediante interfaz USB al ordenador que controlará la red
- 2) La red de sensores debe estar dentro del rango del alcance inalámbrico del coordinador, para que este pueda comandar efectivamente a los nodos.

Cuando se inicia la interfaz de control, se muestra una ventana como la siguiente:

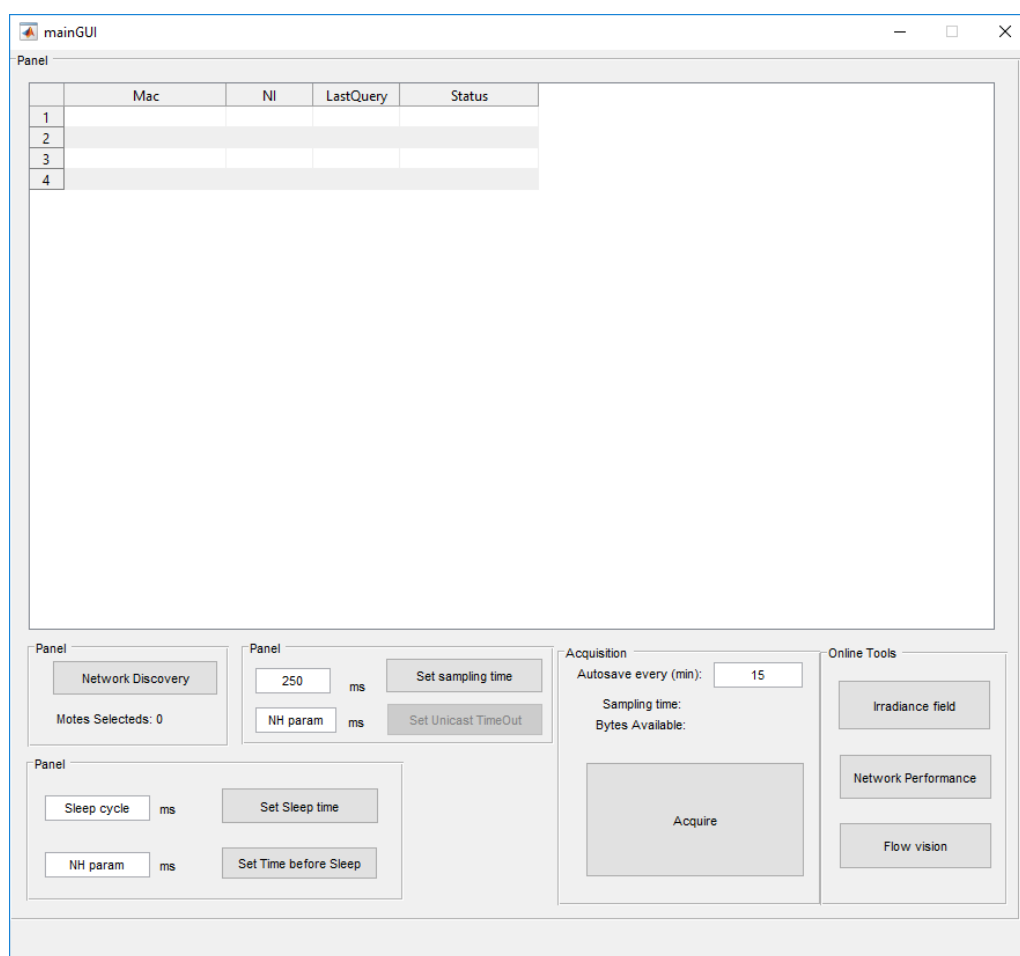


Figura 45. Interfaz gráfica principal

Los dos tercios superiores, se ha reservado para mostrar información de la red. Y el tercio inferior, para visión de los datos en directo, control, gestión y configuración de la red.

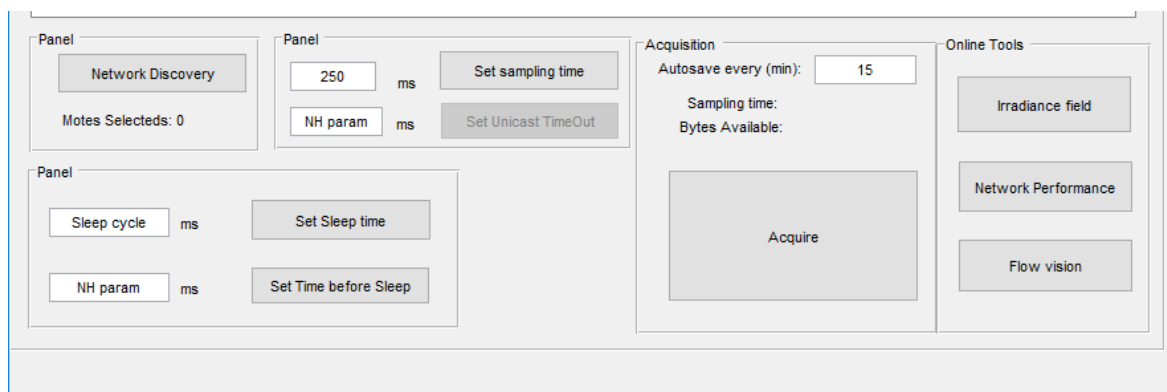


Figura 46. Sección de control y configuración de la interfaz de usuario

3.4.1. Acción: Network Discovery

El descubrimiento de la red se realiza mediante el botón “Network Discovery”. Al pulsar sobre este botón, el coordinador iniciará la búsqueda de nodos dentro de la red y nos la irá mostrando en la parte superior a modo de tabla.

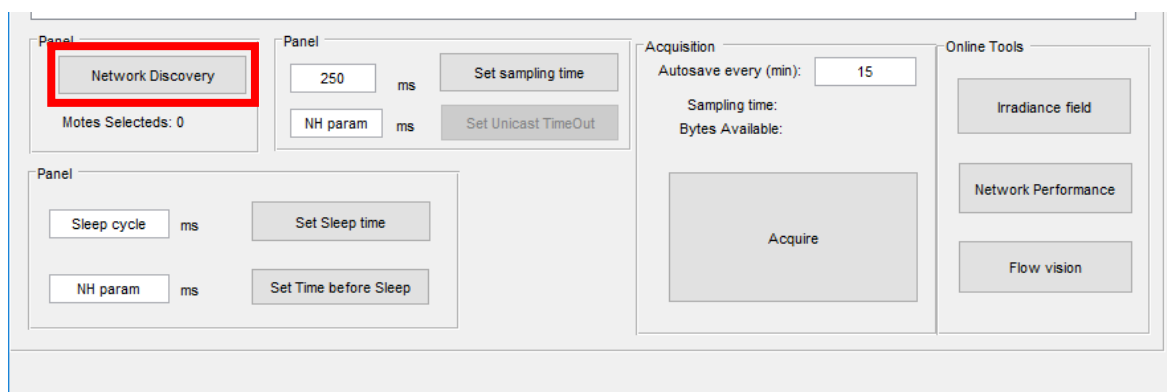


Figura 47. Ubicación del botón “Network Discovery” en la interfaz de usuario

Una vez reconocidos los nodos de la red podremos realizar la configuración de la red.

3.4.2. Acción: Set sampling time

Para ajustar el periodo de muestreo, debe usarse el botón “Set sampling time”. El modo de usarlo es muy simple. Tan solo hay que seleccionar los nodos que queramos configurar de la lista superior, ajustar el tiempo de muestreo en el cuadro de texto y finalmente pulsar sobre el botón “Set sampling time”.

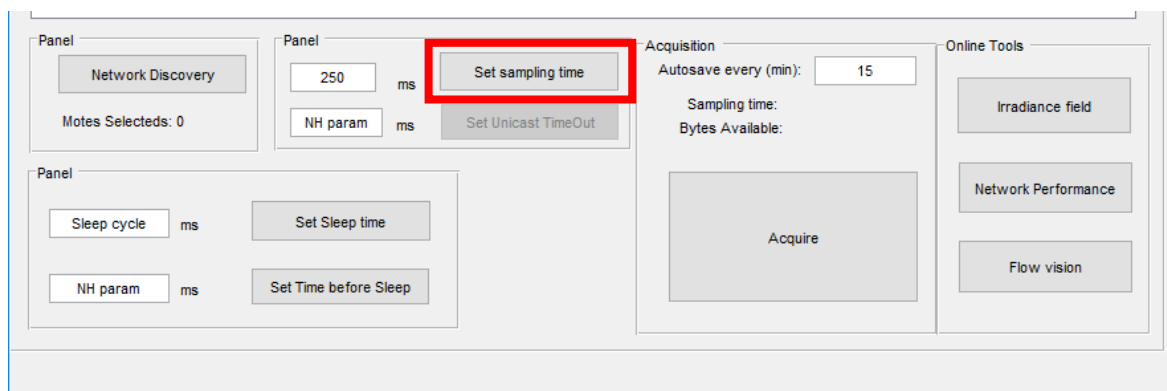


Figura 48. Ubicación del botón Set sampling time en la interfaz gráfica

Realizando esta acción, los nodos seleccionados comienzan a muestrear a intervalo de tiempo fijo. De este modo tan simple, podemos ajustar todos los nodos, uno a uno, por lotes o todos los nodos a la vez.

3.4.3. Acción: Set Unicast TimeOut

Procediendo del modo similar al anterior, podemos establecer el Unicast TimeOut. Este parámetro determina cual es el tiempo para considerar un paquete como perdido. Corresponde directamente al registro NH del modulo de comunicación inalámbrico.

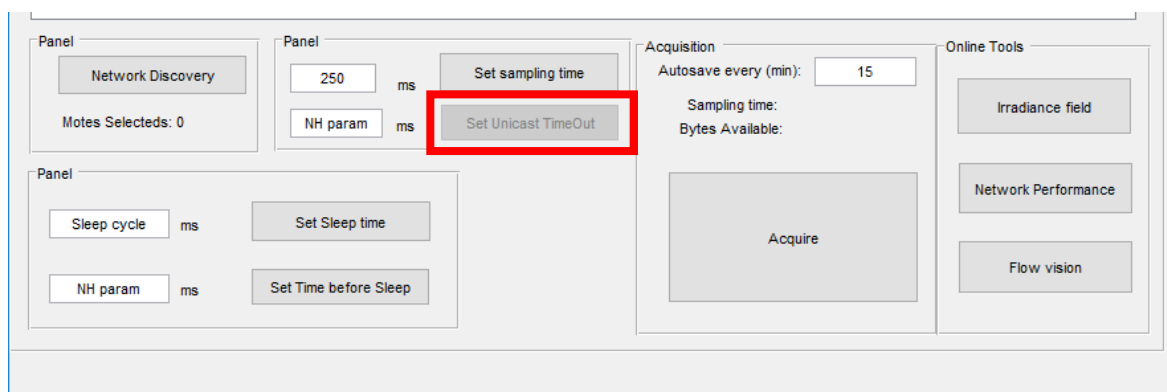


Figura 49. Ubicación del botón Set Unicast TimeOut en la interfaz gráfica

3.4.4. Acción: Comienzo de la adquisición de datos.

La red, una vez ajustado el tiempo de muestreo, está mandando información al coordinador, pero el coordinador no guarda esta información hasta que se inicie el guardado de adquisición con el botón Acquire.

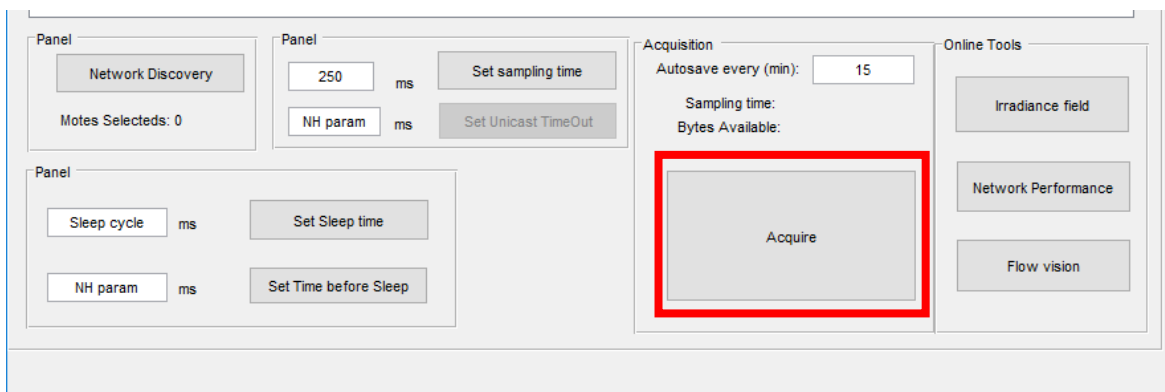


Figura 50. Ubicación del botón Acquire en la interfaz gráfica

Este botón no requiere de la selección de ningún nodo de la lista. Asociado a este botón se encuentra la opción “Autosave every”, que realiza un preguardado cada el tiempo establecido por si se interrumpiera la adquisición, se quede guardada la información hasta ese punto a modo de copia de seguridad.

3.4.5. Acción: Online Irradiance Fiel

Para ver el campo de irradiancia recibido por la red de sensores, debemos pulsar sobre “Irradiance field”

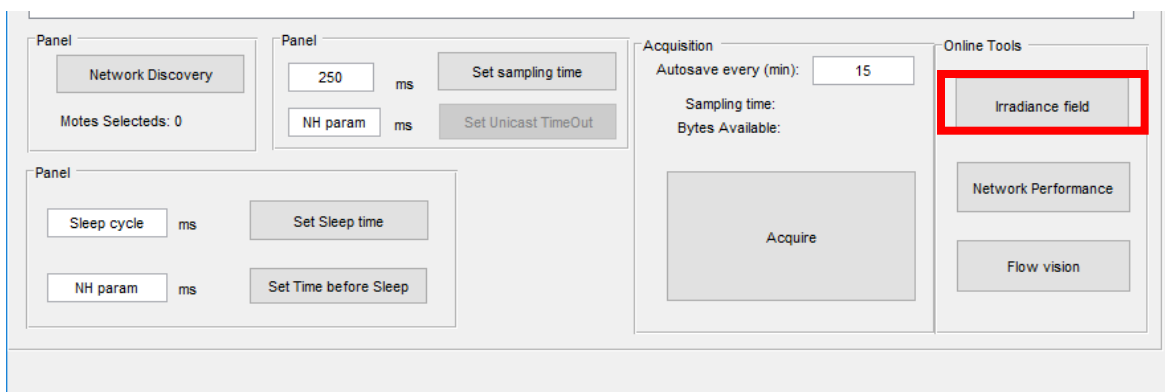


Figura 51. Ubicación del botón “Irradiance field”

Este botón nos mostrará un mapa de irradiancia que se actualiza tan pronto como recibe un dato nuevo, permitiendo de forma visual evaluar la evolución de los datos en tiempo real. La herramienta que muestra es similar a la siguiente:

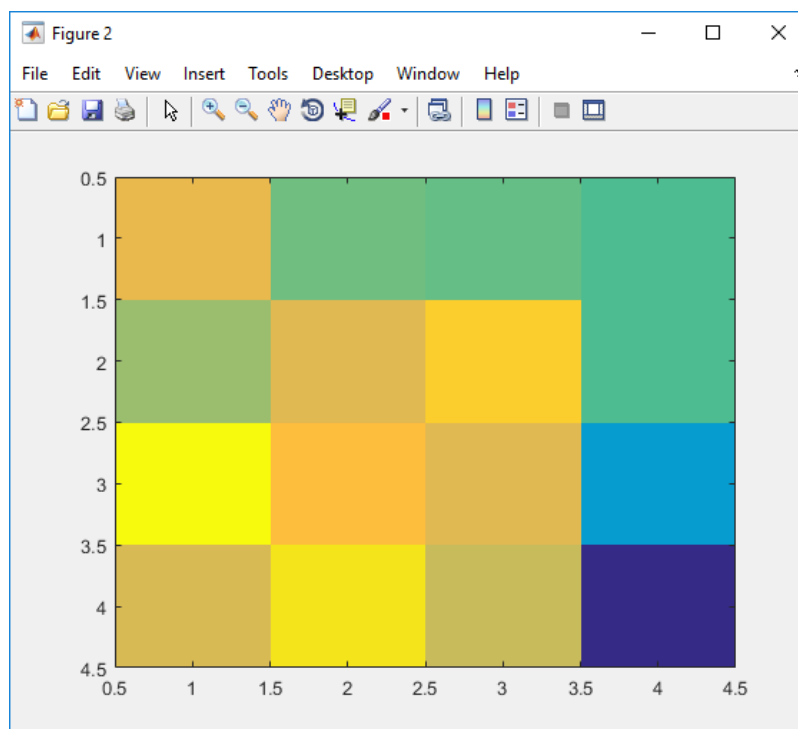


Figura 52. Visualización online del campo de irradiancia

También se puede solicitar los últimos 60 segundos de adquisición para observar la evolución temporal en una misma ventana.

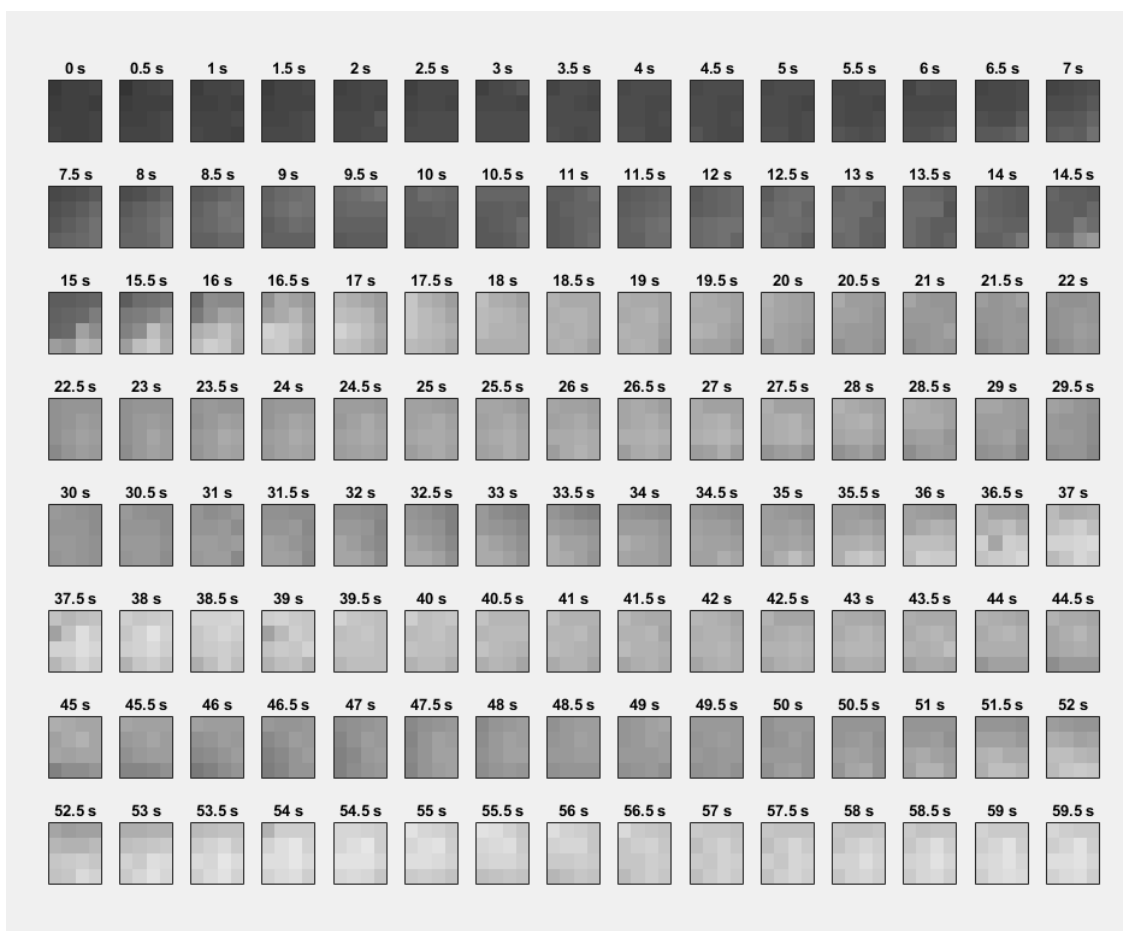


Figura 53. Evolución del campo de irradiancia durante los últimos 60 segundos.

3.4.6. Acción: Network Performance

Es importante observar el rendimiento de la red, puesto que esta tiene un gran impacto sobre la calidad de los datos recibidos. Por ello se diseña esta herramienta, para optimizar según nuestro interés la red para el caso concreto caso de estudio.

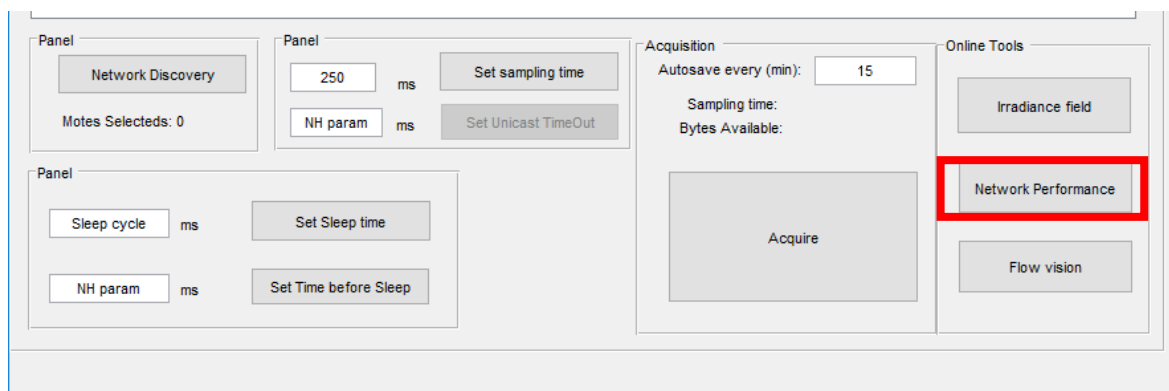


Figura 54. Ubicación del botón "Network Performance"

Una vez pulsado el botón, la red irá realizando configuraciones sobre los nodos y testeando la red, estas pruebas demoran de 4 a 7 minutos y nos devuelve un gráfico como el siguiente:

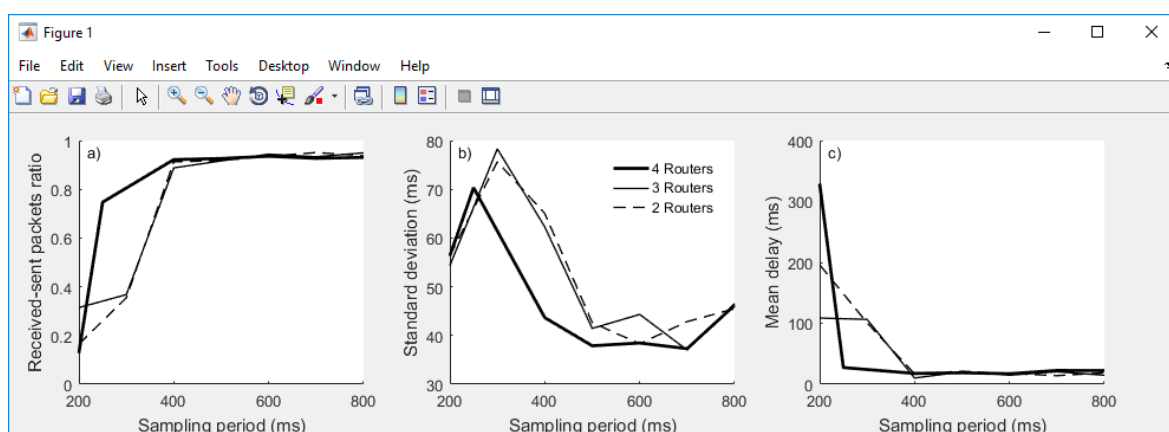


Figura 55. Pruebas de rendimiento de la red

Esta gráfica nos permite tomar decisiones. En el caso de subsecon sampling, vemos que no podemos ir por debajo de los 400-500 ms de muestreo para obtener una buena tasa de recepción, una desviación estándar aceptable y un retraso promedio bajo.

3.4.7. Acción: Flow Vision

También se ha demostrado que es muy influyente el flujo de información en la red. Con los nodos de la red, se debe procurar de recibir la información lo mas continua posible, evitando grandes de paquetes de datos en un intervalo muy corto de tiempo, ya que esto provocaría una alta tasa de pérdida de paquetes.

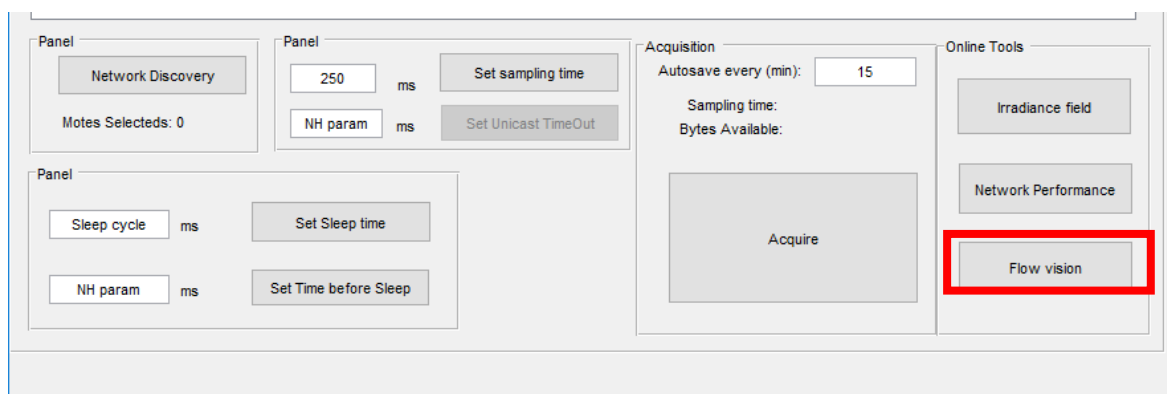


Figura 56. Ubicación del botón "Flow Vision"

Esta función desplegará una ventana que se irá actualizando y mostrará como se distribuyen la recepción de paquetes en un intervalo 10 veces superior al periodo de muestreo. Si se observa mucha concentración en un intervalo pequeño, hay que intentar distribuir esos nodos, parando su muestreo automático y volviendo a setearlo.

3.5. Diseño de la PCB en 3D

El diseño de la red ha tenido varias versiones, en algunas de ellas se depuraban fallos, en otra se implementaba robustez y en otras simplemente, se añadían nuevas funciones. La versión última que se dispone para este proyecto se presenta en un modelo como el siguiente:

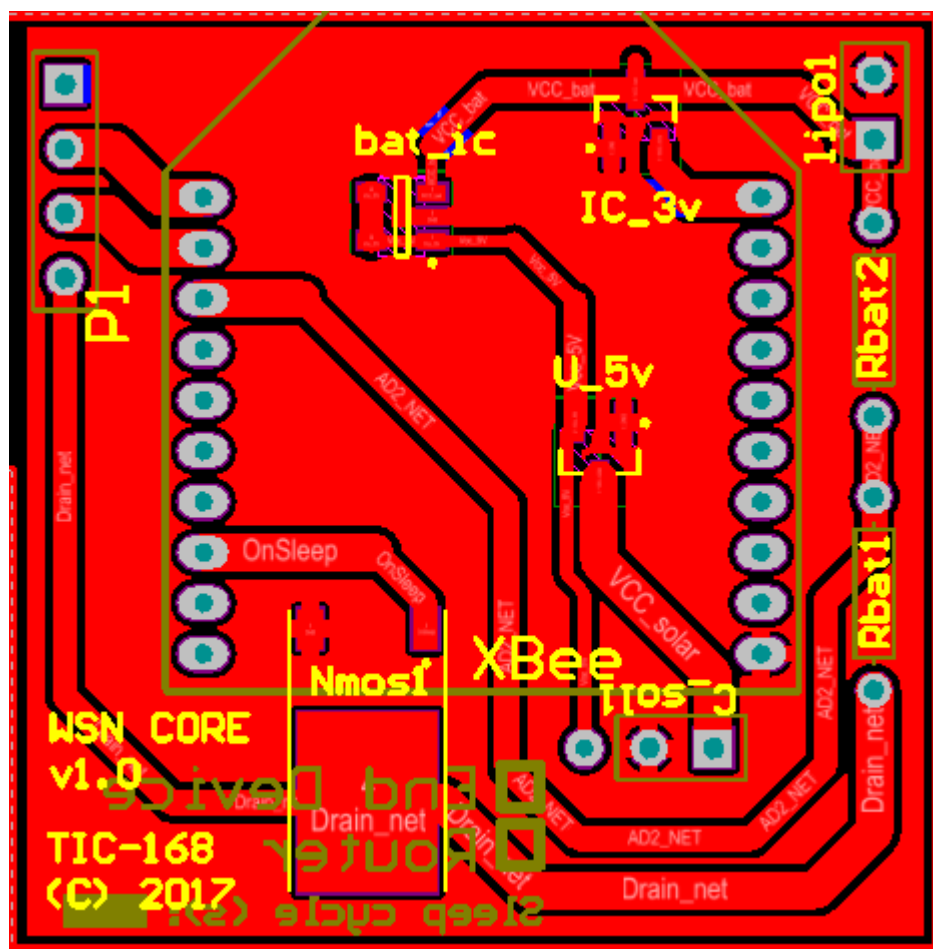


Figura 57. Diseño delantero de la PCB principal

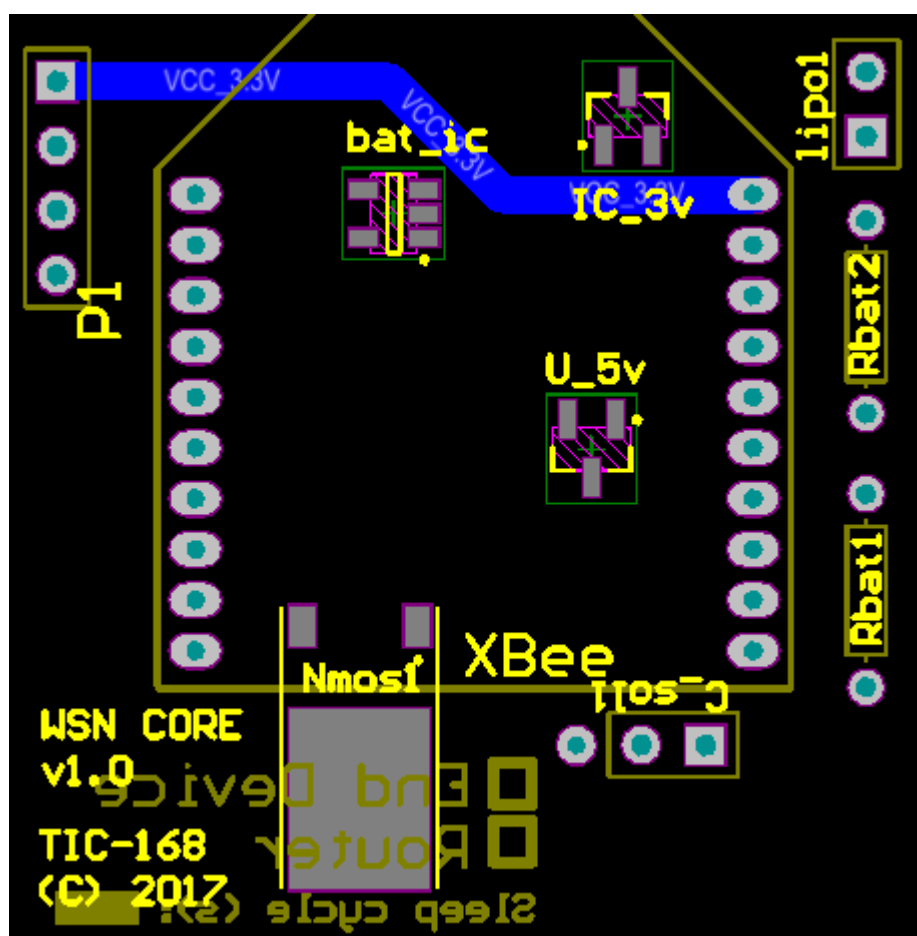


Figura 58. Diseño traseño de la PCB principal

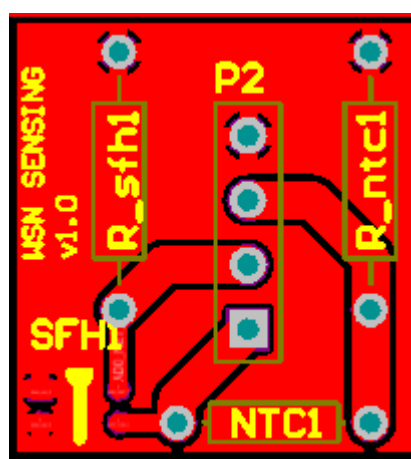


Figura 59. Diseño delantero de la PCB de sensores

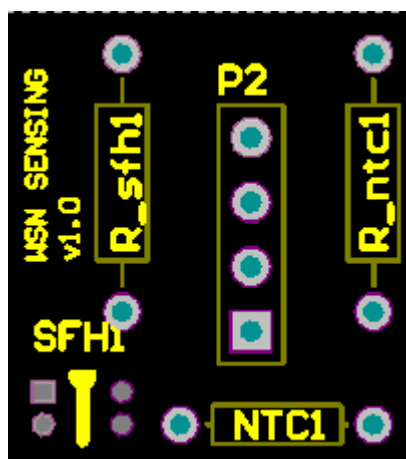


Figura 60. Diseño trasero de la PCB de sensores

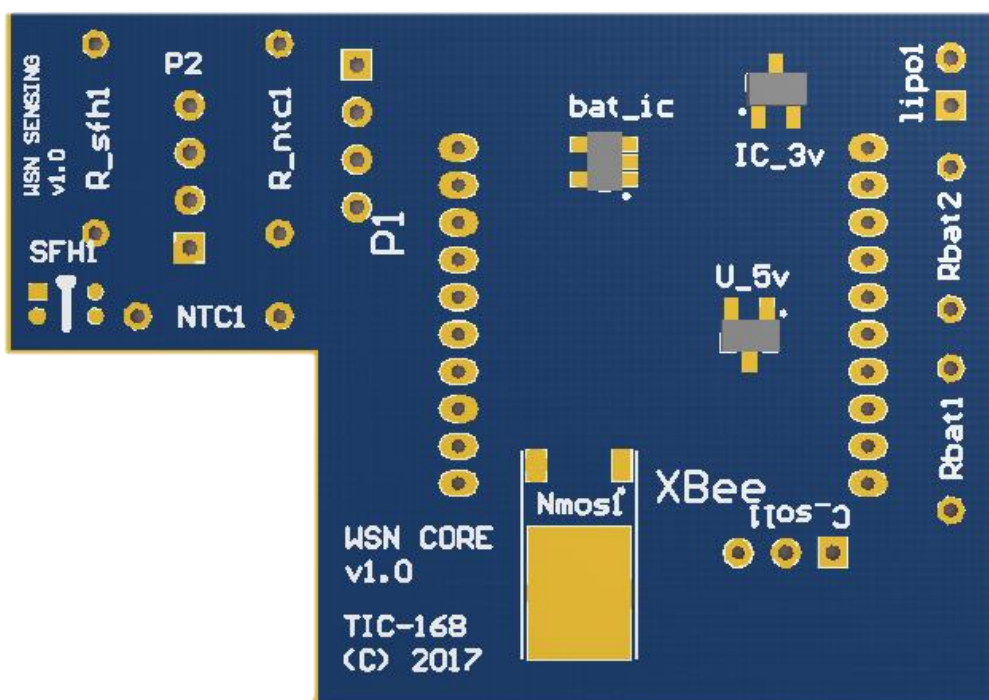


Figura 61. Modelo 3D delantado de ambas PCB unidas

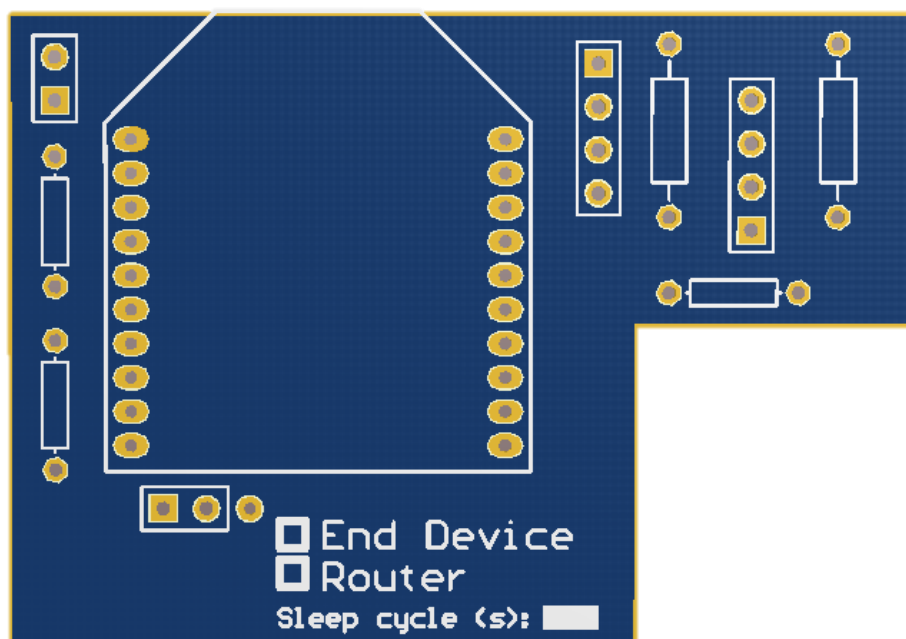


Figura 62. Diseño 3D trasero de ambas PCB unidas

3.6. Datasheets

A continuación, se detallan las características técnicas de los elementos más fundamentales que conforman el proyecto. Aunque se especifiquen modelos de fabricantes muy concretos, estos pueden ser sustituidos por elementos de características similares o superiores, siempre teniendo en cuenta la finalidad del mismo.

Si se desea tener acceso a la información completa de la hoja de características, esta puede ser encontrada en la web del fabricante sin mayor problema.

3.6.1. Regulador Lineal (LDO) MCP1702 versión de 3.3V y 5V

Las características técnicas que se muestran a continuación pertenecen al regulador de tensión conmutado con alta eficiencia de conversión empleado. Este dispositivo es crucial para mantener la integridad del módulo XBee de Digi y para optimizar la autonomía mediante

baterías. También se emplea la versión de 5V para ofrecer 5V al gestor de energía y de carga de las baterías de litio.

Es recomendable el uso de un regulador de alta eficiencia cuando se opere usando exclusivamente una batería como fuente de alimentación, debido a la capacidad limitada de estas.



MCP1702

250 mA Low Quiescent Current LDO Regulator

Features:

- 2.0 μ A Quiescent Current (typical)
- Input Operating Voltage Range: 2.7V to 13.2V
- 250 mA Output Current for Output Voltages \geq 2.5V
- 200 mA Output Current for Output Voltages $<$ 2.5V
- Low Dropout (LDO) Voltage
 - 625 mV typical @ 250 mA ($V_{OUT} = 2.8V$)
- 0.4% Typical Output Voltage Tolerance
- Standard Output Voltage Options:
 - 1.2V, 1.5V, 1.8V, 2.5V, 2.8V, 3.0V, 3.3V, 4.0V, 5.0V
- Output Voltage Range 1.2V to 5.5V in 0.1V Increments (50 mV increments available upon request)
- Stable with 1.0 μ F to 22 μ F Output Capacitor
- Short-Circuit Protection
- Overtemperature Protection

Applications:

- Battery-powered Devices
- Battery-powered Alarm Circuits
- Smoke Detectors
- CO² Detectors
- Pagers and Cellular Phones
- Smart Battery Packs
- Low Quiescent Current Voltage Reference
- PDAs
- Digital Cameras
- Microcontroller Power
- Solar-Powered Instruments
- Consumer Products
- Battery Powered Data Loggers

Related Literature:

- AN765, "Using Microchip's Micropower LDOs", DS00765, Microchip Technology Inc., 2002
- AN766, "Pin-Compatible CMOS Upgrades to Bipolar LDOs", DS00766, Microchip Technology Inc., 2002
- AN792, "A Method to Determine How Much Power a SOT-23 Can Dissipate in an Application", DS00792, Microchip Technology Inc., 2001

Description:

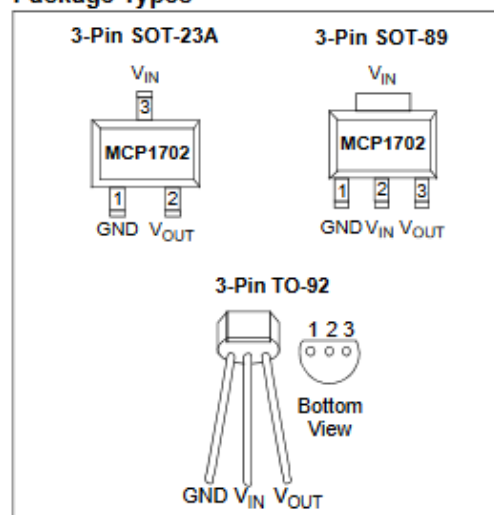
The MCP1702 is a family of CMOS low dropout (LDO) voltage regulators that can deliver up to 250 mA of current while consuming only 2.0 μ A of quiescent current (typical). The input operating range is specified from 2.7V to 13.2V, making it an ideal choice for two to six primary cell battery-powered applications, 9V alkaline and one or two cell Li-Ion-powered applications.

The MCP1702 is capable of delivering 250 mA with only 625 mV (typical) of input to output voltage differential ($V_{OUT} = 2.8V$). The output voltage tolerance of the MCP1702 is typically $\pm 0.4\%$ at $+25^\circ\text{C}$ and $\pm 3\%$ maximum over the operating junction temperature range of -40°C to $+125^\circ\text{C}$. Line regulation is $\pm 0.1\%$ typical at $+25^\circ\text{C}$.

Output voltages available for the MCP1702 range from 1.2V to 5.0V. The LDO output is stable when using only 1 μ F of output capacitance. Ceramic, tantalum or aluminum electrolytic capacitors can all be used for input and output. Overcurrent limit and overtemperature shutdown provide a robust solution for any application.

Package options include the SOT-23A, SOT-89-3, and TO-92.

Package Types



MCP1702

1.0 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Absolute Maximum Ratings †

V_{DD}	+14.5V
All inputs and outputs w.r.t.	($V_{SS}-0.3V$) to ($V_{IN}+0.3V$)
Peak Output Current	500 mA
Storage temperature	-65°C to +150°C
Maximum Junction Temperature	150°C
ESD protection on all pins (HBM/MM).....	≥ 4 kV; ≥ 400V

† Notice: Stresses above those listed under "Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at those or any other conditions above those indicated in the operational listings of this specification is not implied. Exposure to maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

DC CHARACTERISTICS

Electrical Specifications: Unless otherwise specified, all limits are established for $V_{IN} = V_{OUT(MAX)} + V_{DROPOUT(MAX)}$. **Note 1**, $I_{LOAD} = 100 \mu A$, $C_{OUT} = 1 \mu F$ (X7R), $C_{IN} = 1 \mu F$ (X7R), $T_A = +25^\circ C$. **Boldface type applies for junction temperatures, T_J of $-40^\circ C$ to $+125^\circ C$. (Note 7)**

Parameters	Sym	Min	Typ	Max	Units	Conditions
Input / Output Characteristics						
Input Operating Voltage	V_{IN}	2.7	—	13.2	V	Note 1
Input Quiescent Current	I_q	—	2.0	5	μA	$I_L = 0$ mA
Maximum Output Current	I_{OUT_mA}	250	—	—	mA	For $V_R \geq 2.5V$
		50	100	—	mA	For $V_R < 2.5V$, $V_{IN} \geq 2.7V$
		100	130	—	mA	For $V_R < 2.5V$, $V_{IN} \geq 2.95V$
		150	200	—	mA	For $V_R < 2.5V$, $V_{IN} \geq 3.2V$
		200	250	—	mA	For $V_R < 2.5V$, $V_{IN} \geq 3.45V$
Output Short Circuit Current	I_{OUT_SC}	—	400	—	mA	$V_{IN} = V_{IN(MIN)}$ (Note 1), $V_{OUT} = GND$, Current (average current) measured 10 ms after short is applied.
Output Voltage Regulation	V_{OUT}	$V_R-3.0\%$	$V_R \pm 0.4\%$	$V_R+3.0\%$	V	Note 2
		$V_R-2.0\%$	$V_R \pm 0.4\%$	$V_R+2.0\%$	V	
		$V_R-1.0\%$	$V_R \pm 0.4\%$	$V_R+1.0\%$	V	1% Custom
V_{OUT} Temperature Coefficient	TCV_{OUT}	—	50	—	ppm/°C	Note 3
Line Regulation	$\frac{\Delta V_{OUT}}{(V_{OUT} \times \Delta V_{IN})}$	-0.3	± 0.1	+0.3	%/V	$(V_{OUT(MAX)} + V_{DROPOUT(MAX)}) \leq V_{IN} \leq 13.2V$, (Note 1)
Load Regulation	$\Delta V_{OUT}/V_{OUT}$	-2.5	± 1.0	+2.5	%	$I_L = 1.0$ mA to 250 mA for $V_R \geq 2.5V$ $I_L = 1.0$ mA to 200 mA for $V_R < 2.5V$, $V_{IN} = 3.45V$ (Note 4)

- Note 1:** The minimum V_{IN} must meet two conditions: $V_{IN} \geq 2.7V$ and $V_{IN} \geq V_{OUT(MAX)} + V_{DROPOUT(MAX)}$.
- 2:** V_R is the nominal regulator output voltage. For example: $V_R = 1.2V, 1.5V, 1.8V, 2.5V, 2.8V, 3.0V, 3.3V, 4.0V$, or $5.0V$. The input voltage $V_{IN} = V_{OUT(MAX)} + V_{DROPOUT(MAX)}$ or $V_{IN} = 2.7V$ (whichever is greater); $I_{OUT} = 100 \mu A$.
- 3:** $TCV_{OUT} = (V_{OUT-HIGH} - V_{OUT-LOW}) \times 10^6 / (V_R \times \Delta \text{Temperature})$, $V_{OUT-HIGH}$ = highest voltage measured over the temperature range. $V_{OUT-LOW}$ = lowest voltage measured over the temperature range.
- 4:** Load regulation is measured at a constant junction temperature using low duty cycle pulse testing. Changes in output voltage due to heating effects are determined using thermal regulation specification TCV_{OUT} .
- 5:** Dropout voltage is defined as the input to output differential at which the output voltage drops 2% below its measured value with an applied input voltage of $V_{OUT(MAX)} + V_{DROPOUT(MAX)}$ or $2.7V$, whichever is greater.
- 6:** The maximum allowable power dissipation is a function of ambient temperature, the maximum allowable junction temperature and the thermal resistance from junction to air (i.e., T_A , T_J , θ_{JA}). Exceeding the maximum allowable power dissipation will cause the device operating junction temperature to exceed the maximum $150^\circ C$ rating. Sustained junction temperatures above $150^\circ C$ can impact the device reliability.
- 7:** The junction temperature is approximated by soaking the device under test at an ambient temperature equal to the desired Junction temperature. The test time is small enough such that the rise in the Junction temperature over the ambient temperature is not significant.

MCP1702

DC CHARACTERISTICS (CONTINUED)

Electrical Specifications: Unless otherwise specified, all limits are established for $V_{IN} = V_{OUT(MAX)} + V_{DROPOUT(MAX)}$. **Note 1**, $I_{LOAD} = 100 \mu A$, $C_{OUT} = 1 \mu F$ (X7R), $C_{IN} = 1 \mu F$ (X7R), $T_A = +25^\circ C$.
Boldface type applies for junction temperatures, T_J of $-40^\circ C$ to $+125^\circ C$. (**Note 7**)

Parameters	Sym	Min	Typ	Max	Units	Conditions
Dropout Voltage (Note 1 , Note 5)	$V_{DROPOUT}$	—	330	650	mV	$I_L = 250 \text{ mA}$, $V_R = 5.0V$
		—	525	725	mV	$I_L = 250 \text{ mA}$, $3.3V \leq V_R < 5.0V$
		—	625	975	mV	$I_L = 250 \text{ mA}$, $2.8V \leq V_R < 3.3V$
		—	750	1100	mV	$I_L = 250 \text{ mA}$, $2.5V \leq V_R < 2.8V$
		—	—	—	mV	$V_R < 2.5V$, See Maximum Output Current Parameter
Output Delay Time	T_{DELAY}	—	1000	—	μs	$V_{IN} = 0V$ to $6V$, $V_{OUT} = 90\% V_R$ $R_L = 50\Omega$ resistive
Output Noise	e_N	—	8	—	$\mu V/(Hz)^{1/2}$	$I_L = 50 \text{ mA}$, $f = 1 \text{ kHz}$, $C_{OUT} = 1 \mu F$
Power Supply Ripple Rejection Ratio	PSRR	—	44	—	dB	$f = 100 \text{ Hz}$, $C_{OUT} = 1 \mu F$, $I_L = 50 \text{ mA}$, $V_{INAC} = 100 \text{ mV pk-pk}$, $C_{IN} = 0 \mu F$, $V_R = 1.2V$
Thermal Shutdown Protection	T_{SD}	—	150	—	$^\circ C$	

- Note 1:** The minimum V_{IN} must meet two conditions: $V_{IN} \geq 2.7V$ and $V_{IN} \geq V_{OUT(MAX)} + V_{DROPOUT(MAX)}$.
- 2:** V_R is the nominal regulator output voltage. For example: $V_R = 1.2V$, $1.5V$, $1.8V$, $2.5V$, $2.8V$, $3.0V$, $3.3V$, $4.0V$, or $5.0V$. The input voltage $V_{IN} = V_{OUT(MAX)} + V_{DROPOUT(MAX)}$ or $V_{IN} = 2.7V$ (whichever is greater); $I_{OUT} = 100 \mu A$.
- 3:** $TCV_{OUT} = (V_{OUT-HIGH} - V_{OUT-LOW}) \cdot 10^6 / (V_R \cdot \Delta \text{Temperature})$, $V_{OUT-HIGH}$ = highest voltage measured over the temperature range. $V_{OUT-LOW}$ = lowest voltage measured over the temperature range.
- 4:** Load regulation is measured at a constant junction temperature using low duty cycle pulse testing. Changes in output voltage due to heating effects are determined using thermal regulation specification TCV_{OUT} .
- 5:** Dropout voltage is defined as the input to output differential at which the output voltage drops 2% below its measured value with an applied input voltage of $V_{OUT(MAX)} + V_{DROPOUT(MAX)}$ or $2.7V$, whichever is greater.
- 6:** The maximum allowable power dissipation is a function of ambient temperature, the maximum allowable junction temperature and the thermal resistance from junction to air (i.e., T_A , T_J , θ_{JA}). Exceeding the maximum allowable power dissipation will cause the device operating junction temperature to exceed the maximum $150^\circ C$ rating. Sustained junction temperatures above $150^\circ C$ can impact the device reliability.
- 7:** The junction temperature is approximated by soaking the device under test at an ambient temperature equal to the desired Junction temperature. The test time is small enough such that the rise in the Junction temperature over the ambient temperature is not significant.

3.6.2. Gestor de carga de baterías de litio MCP73811/2

Este gestor de carga de baterías de tecnología basadas en litio, se emplea para cargar las baterías con la energía extraída del panel solar de 5 Wp. Este método es sustituible por el regulador de tensión OKI-78SR implementando en la caja del panel solar.



MCP73811/2

Simple, Miniature Single-Cell, Fully Integrated Li-Ion / Li-Polymer Charge Management Controllers

Features

- Complete Linear Charge Management Controller
 - Integrated Pass Transistor
 - Integrated Current Sense
 - Integrated Reverse Discharge Protection
- Constant Current / Constant Voltage Operation with Thermal Regulation
- High Accuracy Preset Voltage Regulation: $\pm 1\%$
- Voltage Regulation: 4.20V
- Selectable Charge Current:
 - MCP73811: 85 mA / 450 mA
- Programmable Charge Current:
 - MCP73812: 50 mA - 500 mA
- Minimum External Components Required:
 - MCP73811: 2 Ceramic Capacitors
 - MCP73812: 2 Ceramic Capacitors and 1 Resistor
- No Preconditioning
- External End-of-Charge Control
- Automatic Power-Down when Input Power Removed
- Active High Charge Enable
- Temperature Range:
 - -40°C to $+85^{\circ}\text{C}$
- Packaging:
 - 5-Lead SOT-23

Applications

- Low-Cost Lithium-Ion/Lithium-Polymer Battery Chargers
- Rechargeable Toys
- Electronic Cigarettes
- Bluetooth Headsets
- USB Chargers

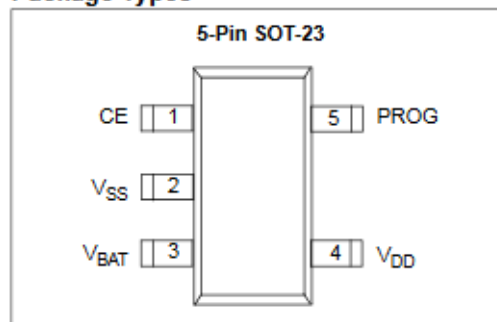
Description

The MCP73811/2 devices are linear charge management controllers that are designed for use in space limited and cost sensitive applications. The MCP73811/2 provide specific charge algorithms for single cell Li-Ion or Li-Polymer battery to achieve optimal capacity in the shortest charging time possible. Along with its small physical size, the low number of external components required make the MCP73811/2 ideally suited for portable applications. For applications charging from a USB port, the MCP73811 adheres to all the specifications governing the USB power bus.

The MCP73811/2 employ a constant current/constant voltage charge algorithm. The constant voltage regulation is fixed at 4.20V, with a tight regulation tolerance of 1%. For the MCP73811, the constant current value is selected as 85 mA (low power USB port) or 450 mA (high power USB port) with a digital input signal on the PROG input. For the MCP73812, the constant current value is set with one external resistor. The MCP73811/2 limit the charge current based on die temperature during high power or high ambient conditions. This thermal regulation optimizes the charge cycle time while maintaining device reliability.

The MCP73811/2 are fully specified over the ambient temperature range of -40°C to $+85^{\circ}\text{C}$. The MCP73811/2 are available in a 5-Lead, SOT-23 package.

Package Types



MCP73811/2

1.0 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Absolute Maximum Ratings†

V_{DDN} 7.0V
All Inputs and Outputs w.r.t. V_{SS} -0.3 to (V_{DD}+0.3)V

Maximum Junction Temperature, T_J Internally Limited
Storage temperature -85°C to +150°C
ESD protection on all pins
Human Body Model (1.5 kW in Series with 100 pF) ≥ 4 kV
Machine Model (200pF, No Series Resistance) 400V

† Notice: Stresses above those listed under "Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at those or any other conditions above those indicated in the operational listings of this specification is not implied. Exposure to maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

DC CHARACTERISTICS

Electrical Specifications: Unless otherwise indicated, all limits apply for $V_{DD} = [V_{REG}(typ.) + 0.3V]$ to 6V, $T_A = -40^{\circ}C$ to $+85^{\circ}C$. Typical values are at $+25^{\circ}C$, $V_{DD} = [V_{REG}(typ.) + 1.0V]$						
Parameters	Sym	Min	Typ	Max	Units	Conditions
Supply Input						
Supply Voltage	V_{DD}	3.75	—	6	V	
Supply Current	I_{SS}	—	1000	1500	μA	Charging
		—	50	100	μA	Standby ($CE = V_{SS}$)
		—	1.2	5	μA	Shutdown ($V_{DD} \leq V_{BAT} - 100\text{ mV}$)
Voltage Regulation (Constant Voltage Mode)						
Regulated Output Voltage	V_{REG}	—	4.20	—	V	$V_{DD} = [V_{REG}(Typ) + 1V]$ $I_{OUT} = 10\text{ mA}$
Output Voltage Tolerance	V_{RTOL}	-1	—	+1	%	$T_A = -5^{\circ}C$ to $+55^{\circ}C$
Line Regulation	$[(\Delta V_{BAT}/V_{BAT}) / \Delta V_{DD}]$	—	0.09	0.30	%/V	$V_{DD} = [V_{REG}(Typ) + 1V]$ to 6V $I_{OUT} = 10\text{ mA}$
Load Regulation	$[\Delta V_{BAT}/V_{BAT}]$	—	0.09	0.30	%	$I_{OUT} = 10\text{ mA}$ to 50 mA $V_{DD} = [V_{REG}(Typ) + 1V]$
Supply Ripple Attenuation	PSRR	—	52	—	dB	$I_{OUT} = 10\text{ mA}$, 10 Hz to 1 kHz
		—	47	—	dB	$I_{OUT} = 10\text{ mA}$, 10 Hz to 10 kHz
		—	22	—	dB	$I_{OUT} = 10\text{ mA}$, 10 Hz to 1 MHz
Current Regulation (Fast Charge Constant-Current Mode)						
Fast Charge Current Regulation	I_{REG}	—	85	—	mA	MCP73811 - PROG = Low
		—	450	—	mA	MCP73811 - PROG = High
		—	50	—	mA	MCP73812 - PROG = 20 k Ω
		—	100	—	mA	MCP73812 - PROG = 10 k Ω
		—	500	—	mA	MCP73812 - PROG = 2 k Ω
Charge Current Tolerance	I_{RTOL}	-10	—	+10	%	$T_A = -5^{\circ}C$ to $+55^{\circ}C$
Pass Transistor ON-Resistance						
ON-Resistance	$R_{DS(ON)}$	—	400	—	m Ω	$V_{DD} = 3.75V$, $T_J = 105^{\circ}C$
Battery Discharge Current						
Output Reverse Leakage Current	$I_{DISCHARGE}$	—	0.5	2	μA	Shutdown ($V_{DD} \leq V_{BAT} - 100\text{ mV}$)

MCP73811/2

DC CHARACTERISTICS (Continued)

Electrical Specifications: Unless otherwise indicated, all limits apply for $V_{DD} = [V_{REG}(typ.) + 0.3V]$ to 6V, $T_A = -40^{\circ}C$ to $+85^{\circ}C$. Typical values are at $+25^{\circ}C$, $V_{DD} = [V_{REG}(typ.) + 1.0V]$						
Parameters	Sym	Min	Typ	Max	Units	Conditions
Charge Enable (CE), PROG Input - MCP73811						
Input High Voltage Level	V_{IH}	2	—	—	V	
Input Low Voltage Level	V_{IL}	—	—	0.8	V	
Input Leakage Current	I_{LK}	—	0.01	1	μA	$V_{CE} = V_{DD}$, $V_{PROG} = V_{DD}$
PROG Input - MCP73812						
Charge Impedance Range	R_{PROG}	2	—	20	$k\Omega$	MCP73812
Automatic Power Down (Direction Control)						
Automatic Power Down Entry Threshold	V_{PD}	$V_{BAT} + 10\text{ mV}$	$V_{BAT} + 50\text{ mV}$	—	V	$2.3V \leq V_{BAT} \leq V_{REG}$ V_{DD} Falling
Automatic Power Down Exit Threshold	V_{PDEXIT}	—	$V_{BAT} + 150\text{ mV}$	$V_{BAT} + 250\text{ mV}$	V	$2.3V \leq V_{BAT} \leq V_{REG}$ V_{DD} Rising
Thermal Shutdown						
Die Temperature	T_{SD}	—	150	—	$^{\circ}C$	
Die Temperature Hysteresis	T_{SDHYS}	—	10	—	$^{\circ}C$	

TEMPERATURE SPECIFICATIONS

Electrical Specifications: Unless otherwise indicated, all limits apply for $V_{DD} = [V_{REG}(typ.) + 0.3V]$ to 6V. Typical values are at $+25^{\circ}C$, $V_{DD} = [V_{REG}(typ.) + 1.0V]$						
Parameters	Sym	Min	Typ	Max	Units	Conditions
Temperature Ranges						
Specified Temperature Range	T_A	-40	—	+85	$^{\circ}C$	
Operating Temperature Range	T_J	-40	—	+125	$^{\circ}C$	
Storage Temperature Range	T_A	-65	—	+150	$^{\circ}C$	
Thermal Package Resistances						
Thermal Resistance, 5-Lead, SOT-23	θ_{JA}	—	230	—	$^{\circ}C/W$	4-Layer JC51-7 Standard Board, Natural Convection

MCP73811/2

3.0 PIN DESCRIPTION

The descriptions of the pins are listed in Table 3-1.

TABLE 3-1: PIN FUNCTION TABLES

Pin Number	Symbol	Function
SOT-23-5		
1	CE	Active High Charge Enable
2	V _{SS}	Battery Management 0V Reference
3	V _{BAT}	Battery Charge Control Output
4	V _{DD}	Battery Management Input Supply
5	PROG	Current Regulation Set and Charge Control Enable

3.1 Charge Enable Input (CE)

A logic High enables battery charging. A logic Low disables battery charging. The charge enable input is compatible with 1.8V logic.

3.2 Battery Management 0V Reference (V_{SS})

Connect to negative terminal of battery and input supply.

3.3 Battery Charge Control Output (V_{BAT})

Connect to positive terminal of battery. Drain terminal of internal P-channel MOSFET pass transistor. Bypass to V_{SS} with a minimum of 1 μ F to ensure loop stability when the battery is disconnected.

3.4 Battery Management Input Supply (V_{DD})

A supply voltage of [V_{REG} (typ.) + 0.3V] to 6V is recommended. Bypass to V_{SS} with a minimum of 1 μ F.

3.5 Current Regulation Set (PROG)

For the MCP73811, the current regulation set input (PROG) functions as a digital input selection. A logic Low selects a 85 mA charge current; a logic High selects a 450 mA charge current.

For the MCP73812, the charge current is set by placing a resistor from PROG to V_{SS}.

MCP73811/2

4.0 DEVICE OVERVIEW

The MCP73811/2 are simple, but fully integrated linear charge management controllers. Figure 4-1 depicts the operational flow algorithm.

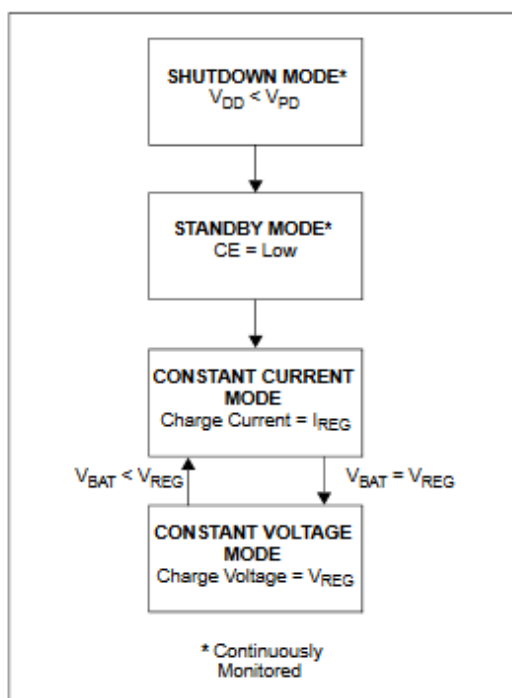


FIGURE 4-1: Flow Chart.

4.1 Undervoltage Lockout (UVLO)

The MCP73811/2 does not have an internal under voltage lockout (UVLO) circuit.

4.2 Charge Qualification

When the input power is applied, the input supply must rise 150 mV above the battery voltage before the MCP73811/2 becomes operational.

The automatic power down circuit places the device in a shutdown mode if the input supply falls to within +50 mV of the battery voltage.

The automatic circuit is always active. Whenever the input supply is within +50 mV of the voltage at the V_{BAT} pin, the MCP73811/2 is placed in a shutdown mode.

During power down condition, the battery reverse discharge current is less than 2 μ A.

For a charge cycle to begin, the automatic power down conditions must be met and the charge enable input must be above the input high threshold.

4.3 PRECONDITIONING

The MCP73811/2 does not support preconditioning of deeply depleted cells.

4.4 Constant Current MODE - Fast Charge

During the constant current mode, the selected (MCP73811) or programmed (MCP73812) charge current is supplied to the battery or load.

For the MCP73812, the charge current is established using a single resistor from PROG to V_{SS}. The program resistor and the charge current are calculated using the following equation:

EQUATION 4-1:

$$I_{REG} = \frac{1000V}{R_{PROG}}$$

Where:

R _{PROG}	=	kilo-ohms
I _{REG}	=	milliamperes

Constant current mode is maintained until the voltage at the V_{BAT} pin reaches the regulation voltage, V_{REG}.

4.5 Constant Voltage Mode

When the voltage at the V_{BAT} pin reaches the regulation voltage, V_{REG}, constant voltage regulation begins. The regulation voltage is factory set to 4.20V with a tolerance of $\pm 1.0\%$.

4.6 Charge Termination

The charge cycle is terminated by removing the battery from the charger, removing input power, or driving the charge enable input (CE) to a logic Low. An automatic charge termination method is not implemented.

4.7 Automatic Recharge

The MCP73811/2 does not support automatic recharge cycles since automatic charge termination has not been implemented. In essence, the MCP73811/2 is always in a charge cycle whenever the qualification parameters have been met.

MCP73811/2

4.8 Thermal Regulation

The MCP73811/2 limits the charge current based on the die temperature. The thermal regulation optimizes the charge cycle time while maintaining device reliability. Figure 4-2 depicts the thermal regulation for the MCP73811/2.

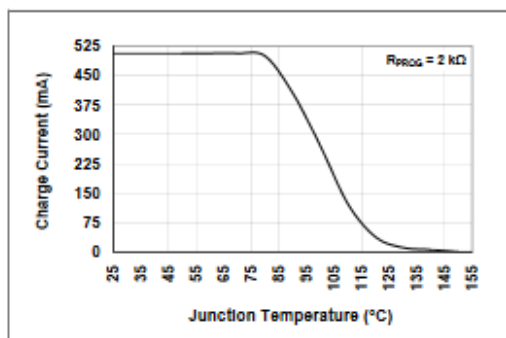


FIGURE 4-2: Thermal Regulation.

4.9 Thermal Shutdown

The MCP73811/2 suspends charge if the die temperature exceeds 150°C. Charging will resume when the die temperature has cooled by approximately 10°C. The thermal shutdown is a secondary safety feature in the event that there is a failure within the thermal regulation circuitry.

MCP73811/2

5.0 DETAILED DESCRIPTION

5.1 Analog Circuitry

5.1.1 BATTERY MANAGEMENT INPUT SUPPLY (V_{DD})

The V_{DD} input is the input supply to the MCP73811/2. The MCP73811/2 automatically enters a Power-down mode if the voltage on the V_{DD} input falls to within +50 mV of the battery voltage. This feature prevents draining the battery pack when the V_{DD} supply is not present.

5.1.2 MCP73812 CURRENT REGULATION SET (PROG)

For the MCP73812, the charge current regulation can be scaled by placing a programming resistor (R_{PROG}) from the PROG input to V_{SS} . The program resistor and the charge current are calculated using the following equation:

EQUATION 5-1:

$$I_{REG} = \frac{1000V}{R_{PROG}}$$

Where:

R_{PROG} = kilo-ohms
 I_{REG} = milliamperes

5.1.3 BATTERY CHARGE CONTROL OUTPUT (V_{BAT})

The battery charge control output is the drain terminal of an internal P-channel MOSFET. The MCP73811/2 provides constant current and voltage regulation to the battery pack by controlling this MOSFET in the linear region. The battery charge control output should be connected to the positive terminal of the battery pack.

5.2 Digital Circuitry

5.2.1 CHARGE ENABLE (CE)

The charge enable input pin (CE) can be used to terminate a charge at any time during the charge cycle, as well as to initiate a charge cycle or initiate a recharge cycle.

Driving the input to a logic High enables the device. Driving the input to a logic Low disables the device and terminates a charge cycle. When disabled, the device's supply current is reduced to 50 μ A, typically.

5.2.2 MCP73811 CURRENT REGULATION SELECT (PROG)

For the MCP73811, driving the PROG input to a logic Low selects the low charge current setting (85 mA). Driving the PROG input to a logic High selects the high charge current setting (450 mA).

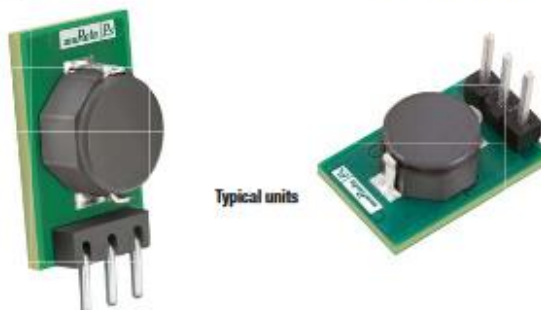
3.6.3. Regulador de tensión OKI-78SR

Este regulador de tensión se ha implementado en la tapa trasera del panel solar de 5 Wp para obtener una tensión estabilizada de 5V y con una alta eficiencia en la conversión de la energía. Se ha empleado este regulador en paneles grandes que tienen esta posibilidad. En caso de que no exista posibilidad de integrar este regulador se debe optar por el regulador en PCB propuesto en el apartado anterior, el MCP73811/2



Okami OKI-78SR Series

Fixed Output 1.5 Amp SIP DC/DC Converters



Typical units

FEATURES

- Ultra wide 7 to 36 VDC input range
- Fixed Outputs of 3.3 or 5 VDC up to 1.5 Amps
- Vertical or horizontal SIP-mount, small footprint package
- "No heat sink" direct replacement for 3-terminal 78xx-series linear regulators
- High efficiency with no external components
- Short circuit protection
- Outstanding thermal derating performance
- UL/EN/IEC 60950-1, 2nd Edition safety approvals

PRODUCT OVERVIEW

Fabricated on a 0.41 by 0.65 inch (10.4 by 16.5 mm) Single Inline Package (SIP) module, the OKI-78SR series are non-isolated switching regulator (SR) DC/DC power converters for embedded applications. The fixed single output converters offer both tight regulation and high efficiency directly at the power usage site and are a direct plug-in replacement for TO-220 package 78xx series linear regulators. Typically, no extra outside components are required.

Two nominal output voltages are offered (3.3 and 5 VDC), each with 1.5 Amp maximum output. Based on fixed-frequency buck switching topology, the high efficiency means very low heat and little electrical noise, requiring no external components. The ultra wide input range is 7 to 36 Volts DC.

Protection features include short circuit current limit protection. The OKI-78SR is designed to meet all standards approvals. RoHS-6 (no lead) hazardous material compliance is specified as standard.

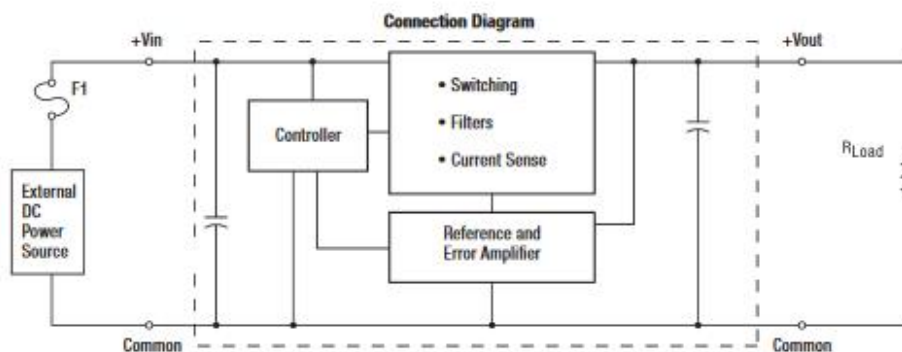


Figure 1. OKI-78SR

Note: Murata Power Solutions strongly recommends an external input fuse, F1. See specifications.

Performance and Functional Specifications	
All specifications are typical unless noted. See Note 1	
Input	
Input Voltage Range	See Ordering Guide.
Recommended External Fuse	2 Amps fast blow
Reverse Polarity Protection (Note 9)	None. Install an external fuse.
Isolation (note 5)	Not isolated. The input and output share a common return.
Start-Up Voltage	NA
Undervoltage Shutdown	NA
Overvoltage Shutdown	None
Internal Input Filter Type	Capacitive
Input Current:	
Full Load Conditions	See Ordering Guide
Inrush Transient	0.16 A ² Sec.
Shutdown Mode (Off, UV, OT)	1 mA
Output In Short Circuit	5 mA
No Load	5 mA
Low Line (Vin=Vmin, Vout=nom)	0.8 Amps (OKI-78SR-3.3/1.5-W36) 1.16 Amps (OKI-78SR-5/1.5-W36)
Reflected (Back) Ripple Current (Note 2)	10 mA pk-pk (OKI-78SR-3.3/1.5-W36) 49 mA pk-pk (OKI-78SR-5/1.5-W36)
Output	
Output Voltage	See Ordering Guide
Output Current Range	0 to 1.5 Amps
Minimum Loading (Note 11)	No minimum load
Maximum Output Power	5.15 Watts (OKI-78SR-3.3/1.5-W36) 7.8 Watts (OKI-78SR-5/1.5-W36)
Accuracy (50% load)	±4 % of Vnom
Overvoltage Protection (Note 7)	None
Temperature Coefficient	±0.02% per °C. of Vout range
Ripple/Noise (20 MHz bandwidth)	See Ordering Guide and note 11
Line/Load Regulation	See Ordering Guide and note 10
Efficiency	See Ordering Guide and performance graphs
Maximum Capacitive Loading	
Cap-ESR=0.001 to 0.01 Ohms	300 µF
Cap-ESR >0.01 Ohms	3300 µF
Current Limit Inception (98% of Vout setting, after warm up)	3.5 Amps
Short Circuit Mode (Notes 6, 11)	
Short Circuit Current Output	10 mA
Protection Method	Hiccup autorecovery upon overload removal. (Note 8)
Short Circuit Duration	Continuous, no damage (output shorted to ground)
Prebias Startup	The converter will start up if the external output voltage is less than Vnominal.
Dynamic Characteristics	
Dynamic Load Response (50% to 100% load step, no external caps)	
dV/dt – 1 A/µSec	25 µSec settling time to within ±2% of final value
Peak deviation	100 mV
Switching Frequency	500 KHz

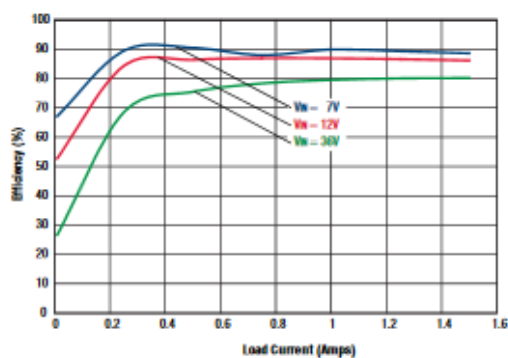
Environmental		
Calculated MTBF (Note 4)	Ambient Temp.	Hours
OKI-78SR-3.3/1.5-W36-C Telecordia method (4a)	+25°C	78,721,000
	+40°C	59,017,000
OKI-78SR-3.3/1.5-W36-C MIL-HDBK-217/N2 method (4b)	+25°C	14,587,000
	+40°C	9,814,000
Operating Ambient Temperature Range		
Full power, with derating [3]	-40 to +85°C, see derating curves.	
Storage Temperature Range	-55 to +125 °C.	
Relative Humidity	to 85%/+85 °C.	
Physical		
Outline Dimensions	See Mechanical Specifications [11]	
Weight	0.07 ounces (2 grams)	
Safety	Certified to UL/cUL 60950-1 CSA-C22.2 No. 60950-1 IEC/EN 60950-1, 2nd Edition	
Absolute Maximum Ratings		
Input Voltage, Continuous or transient	36 Volts max.	
Input Reverse Polarity Protection	None. Install external fuse.	
Output Current	Current-limited. Devices can withstand sustained short circuit without damage.	
Storage Temperature	-40 to +125 deg. C.	

Specification Notes:

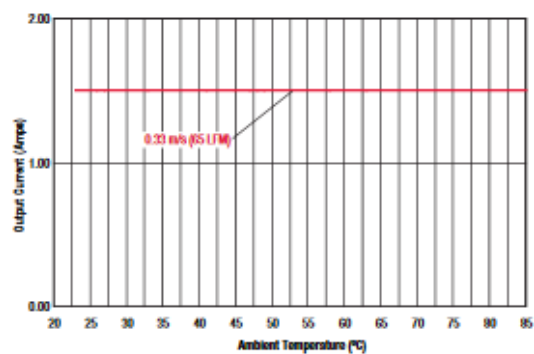
- (1) All specifications are typical unless noted. General conditions for Specifications are +25 deg.C ambient temperature, Vin=nominal, Vout=nominal, full rated load. Adequate airflow must be supplied for extended testing under power. See Derating curves.
All models are tested and specified with no external capacitors. All models are stable and regulate within spec under no-load conditions.
- (2) Input Back Ripple Current is tested and specified over a 5 Hz to 20 MHz bandwidth. Input filtering is Cin=2 x 100 µF, Coss=1000 µF, Lobs=1 µH. All caps are low ESR types.
- (3) Note that Maximum Power Derating curves indicate an average current at nominal input voltage. At higher temperatures and/or lower airflow, the DC/DC converter will tolerate brief full current outputs if the total RMS current over time does not exceed the Derating curve. All Derating curves are presented near sea level altitude. Be aware of reduced power dissipation with increasing altitude.
- (4a) Mean Time Before Failure is calculated using the Telecordia (Bellcore) SR-332 Method 1, Case 3, ground fixed conditions, Typeboard, +25 °C, full output load, natural air convection.
- (4b) Mean Time Before Failure is calculated using the MIL-HDBK-217/N2 method, ground benign, +25°C, full output load, natural convection.
- (5) The input and output are not isolated. They share a single COMMON power and signal return.
- (6) Short circuit shutdown begins when the output voltage degrades approximately 2% from the selected setting. Output current limit and short circuit protection are non-latching. When the overcurrent fault is removed, the converter will immediately recover.
- (7) The output is not intended to sink appreciable reverse current.
- (8) "Hiccup" overcurrent operation repeatedly attempts to restart the converter with a brief, full current output. If the overcurrent condition still exists, the restart current will be removed and then tried again. This short current pulse prevents overheating and damaging the converter.
- (9) Input Fusing: If reverse polarity is accidentally applied to the input, to ensure reverse input protection, always connect an external input fast blow fuse in series with the +Vin input. Use approximately twice the full input current rating with nominal input voltage.
- (10) Regulation specifications describe the deviation as the line input voltage or output load current is varied from a nominal midpoint value to either extreme.
- (11) Output noise may be further reduced by installing an external filter. Do not exceed the maximum output capacitance. At zero output current and no external capacitor, the output may contain low frequency components which exceed the ripple specification. The output may be operated indefinitely with no load.

PERFORMANCE DATA – OKI-78SR-3.3/1.5-W36

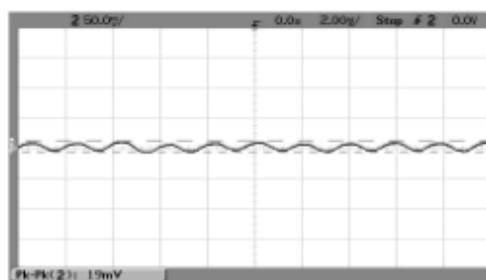
Efficiency vs. Line Voltage and Load Current @ +25°C. (Vout = Vnom.)



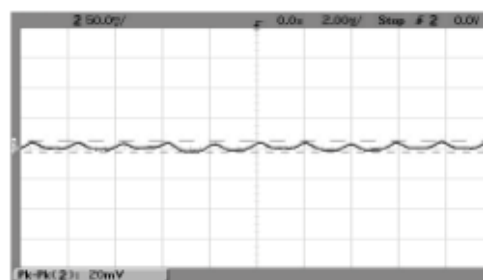
Maximum Current Temperature Derating at sea level (Vin=7V. to 36V)



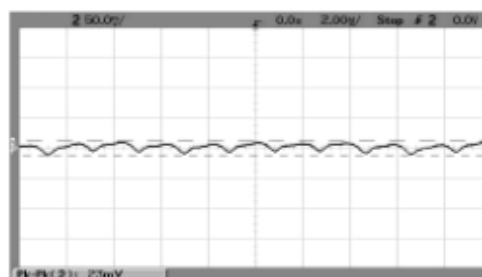
Output Ripple and Noise (Vin=7V, Vout=nominal, Iout=1.6A, Cload=0, Ta=+25°C., ScopeBW=100MHz)



Output Ripple and Noise (Vin=12V, Vout=nominal, Iout=1.6A, Cload=0, Ta=+25°C., ScopeBW=100MHz)



Output Ripple and Noise (Vin=36V, Vout=nominal, Iout=1.6A, Cload=0, Ta=+25°C., ScopeBW=100MHz)



3.6.4. Panel Solar Policristalino de 5Wp de RS-Components

Este panel solar se encarga de brindar la energía necesaria para mantener operativo al nodo y cargar la batería. Se trata de un panel solar policristalino con una potencia pico de 5W, más que suficiente para cubrir las necesidades energéticas del propósito del proyecto.



Datasheet

ENGLISH

12V Solar Panels

BENEFITS

Reliable and Robust Design

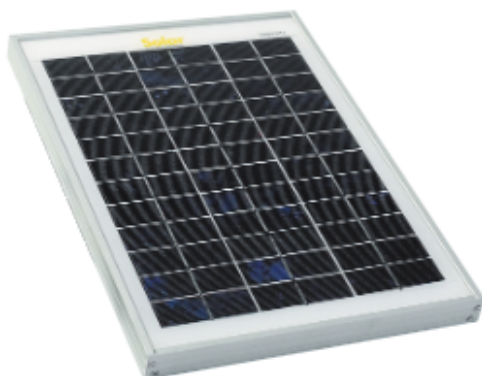
Proven materials, tempered front glass, and a sturdy anodized frame allow panels to operate reliably in multiple mounting configurations.

Classic Design

Combines high efficiency and attractive crystalline cells give an elegant appearance.

More Power

Using industry leading 17.0% efficiency solar cells delivers incredible performance.



(10WP Panel shown)

MONO & POLY-CRYSTALLINE (12 VOLT) SILICONE SOLAR CELL MODULES

5WP – 150WP

Features

- Modules are designed in accordance with IEC61215:1993 standards, manufactured with proven materials and tested to ensure electrical performance and service life.
- SiN film deposited on the front surface by PECVD acts as anti- reflection coating and gives a uniform dark blue appearance.
- Cells are laminated between highly transparent low-iron 3mm tempered glass, TPT and two layers of EVA to prevent moisture penetrating the module.
- Heavy duty anodized aluminium frame provides high wind resistance and convenient mounting access.
- Waterproof junction box and terminals allows for quick and simple connection.
- Modules will either be supplied with no cable, cable supplied but not connected to the junction box or fully fitted – depending on the option selected. Supplied cables guarantee excellent power transmission throughout the year.
- There is no current requirement for the STI Solar Modules to comply with ROHS.
- 20 year power output transferable warranty



ENGLISH

PV MODULES MADE WITH IEC 61215 CERTIFICATION

Model	Output Wp	Size mm	Weight Kgm	Pmax W	Vmp V	Imp A	Voc V	Isc A
9046128	5	306 x 218 x 25	1.0	5	16.8	0.3	21	0.39
9046121	10	397 x 280 x 25	1.5	10	16.8	0.59	21	0.66
9046125	20	638 x 278 x 25	2.2	20	17.5	1.15	22	1.27
9046134	30	660 x 380 x 25	2.8	30	17.5	1.72	22	1.90
9046137	45	634 x 535 x 25	4.5	45	17.5	2.58	22	2.86
9046131	60	685 x 670 x 35	6.0	60	17.2	3.49	21.6	3.97
9046140	80	815 x 670 x 35	7.8	80	17.2	4.65	21.6	5.00
9046143	100	1055 x 670 x 35	8.0	100	19.55	5.12	23.15	5.45
9046147	120	1250 x 670 x 35	12.0	120	17.2	6.98	21.6	7.93
9046156	150	1490 x 670 x 35	15.2	150	17.2	8.72	21.6	9.72

ABSOLUTE MAXIMUM LIMITS

PARAMETERS	RATING	UNIT
Operating temperature	-40 to +85	°C
Storage temperature	-40 to +85	°C
Dielectric voltage withstood	3000 _{max}	V-DC
NOCT	48	°C

TEMPERATURE COEFFICIENTS

Current temperature coefficient	dIsc/dT	+0.003A/K
Voltage temperature coefficient	dVoc/dT	-0.13V/K
Power temperature coefficient	dPm/dT	-0.675W/K

CERTIFICATIONS

ISO9001 (2008)	1014QMO5
TUV / IEC61215	PV60040905
IEC61710 (Salt Mist Corrosion Test)	4786191107-NABL-S1
CE	G4M20301-0199-E-16

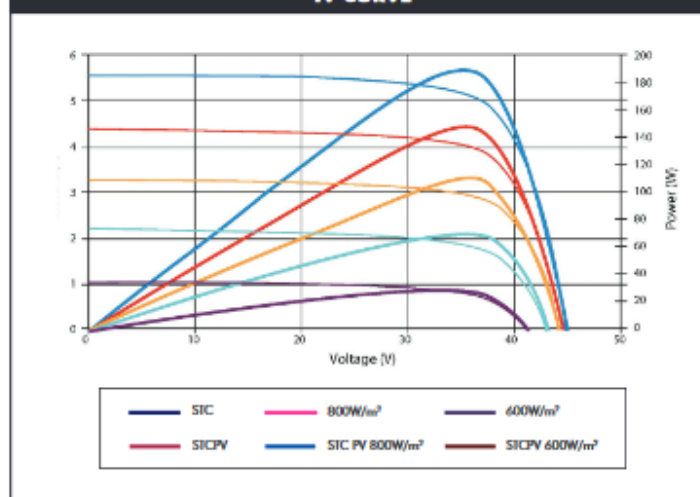
MATERIALS

Frame	Aluminium 6063 T5
Front Cover	High-transmission Glass

WARRANTY

All RS Components solar modules are supplied with a 20 year limited peak power warranty. The warranty claim will be deemed to be valid if within 20 years any solar module exhibits power output at less than 80% of minimum 'Peak Power Standard Test Conditions' as noted on the data plate of each module and/or any fault is determined to be the cause of defects in materials and workmanship but not where interference with the module/s by an unauthorised person (of RS Components) has caused the fault or defect. The warranty includes any call outs, labour and other expenses associated with the repair or replacement of the defective part module. RS Components may, at its discretion offer one of the following remedies in the event of a successful claim against the module performance warranty: 1) to replace the defective module/s 2) refund the percentage of the cost of the module to the customer representing the percentage of the power output less than 80% of the minimum. RS Components endeavours to but is not bound by its commitment to rectify any fault within 7 days of notification.

IV CURVE



ALL FIGURES TAKEN UNDER THE FOLLOWING STANDARD TEST CONDITIONS:
IRRADIANCE 1000W/M², MODULE TEMPERATURE 25°C, AM=1.5
(All technical data subject to changes without prior notice)

3.6.5. Termistor NTC ND03N00103K

Este elemento será empleado como sensor de temperatura en los módulos XBee de Digi y como elemento sensor en el integrado que realiza la carga de las baterías. Es importante que este elemento tenga unas características adecuadas para poder adaptarse a la entrada del ADC del módulo XBee.

Las características técnicas que se detallan a continuación corresponden al termistor ND03N00103K, este ha sido el elemento empleado durante el prototipado, dando unos resultados aceptables.

NTC Disc Thermistors

ND 03/06/09 • NE 03/06/09 • NV 06/09



APPLICATIONS

- Commodity Product: 2 families
ND or NE : general purpose
NV : professional
- Alarm and temperature measurement application
- Temperature regulation application
- Level detection application
- Compensation application

TECHNOLOGY

- ND: epoxy-phenolic resin coating
NE: epoxy resin coating (recommended for severe mounting conditions)
NV: epoxy varnish coating
- Leads: Radial copper wire tinned
- Marking: on package only for ND03 & NE03
ND/NE 06/09: Nominal resistance and tolerance for $\pm 5\%$, $\pm 10\%$
NV06/09: Nominal resistance and tolerance
- Delivery Mode: Bulk, reeled or ammopacked



Leaded Discs

N.03

N.06

N.09



PERFORMANCE CHARACTERISTICS

Types	General purpose			Professional	
	ND03 or NE03	ND06 or NE06	ND09 or NE09	NV06	NV09
Climatic category				55/125/56-434	55/125/56-434
Operating Temperature	-55 to +150°C	-55 to +150°C	-55 to +150°C	-55 to +150°C	-55 to +150°C
Tolerance on R _n (25°C)	330Ω to 1MΩ : $\pm 5\%$, 10, 20% 1500Ω to 150 kΩ : $\pm 3\%$	$\pm 5\%$, $\pm 10\%$, $\pm 20\%$	$\pm 5\%$, $\pm 10\%$, $\pm 20\%$	$\pm 2\%$, $\pm 5\%$, $\pm 10\%$	$\pm 2\%$, $\pm 5\%$, $\pm 10\%$
Maximum dissipation at 25°C	0.25 W	0.71 W	0.9 W	0.69 W	0.85 W
Thermal dissipation factor	5 mW/°C	7.1 mW/°C	9 mW/°C	6.9 mW/°C	8.5 mW/°C
Thermal time constant	10 s	22 s	30 s	18 s	30 s
Response time	< 3s				

STANDARDIZATION

NV range : approved by NFC 93271
 Type: TN115 A for NV06
 TN116 for NV09
 List: GAM-T1
 List: LNZ

OPTIONS

Consult factory for availability of options:

- other nominal resistance values
- other tolerances
- alternative lead materials or lengths
- controlled dimensions

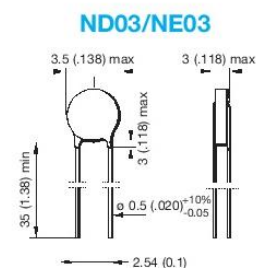
NTC Disc Thermistors

ND/NE 03



TABLE OF VALUES

ND03/NE03 TYPE



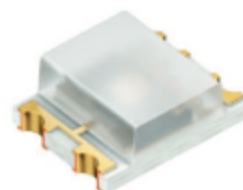
Part Number	R _n at 25°C (Ω)	Material Code	B (K) ($\Delta B/B$ (1) $\pm 5\%$ (2) $\pm 3\%$)	α at 25°C (%/°C)
N_03I00331 N_03I00471	330 470	I	3250 (1)	- 3.7
N_03J00681 N_03J00102	680 1,000	J	3480 (2)	- 3.9
N_03K00152 N_03K00222	1,500 2,200	K	3630 (2)	- 4.0
N_03L00272 N_03L00332	2,700 3,300	L	3790 (2)	- 4.2
N_03M00472 N_03M00682	4,700 6,800	M	3950 (2)	- 4.4
N_03N00103 N_03N00153	10,000 15,000	N	4080 (2)	- 4.6
N_03P00223 N_03P00333	22,000 33,000	P	4220 (2)	- 4.7
N_03Q00473 N_03Q00683	47,000 68,000	Q	4300 (2)	- 4.7
N_03R00104 N_03R00154	100,000 150,000	R	4400 (2)	- 4.8
N_03S00224	220,000	S	4520 (2)	- 5.0
N_03T00334 N_03T00474	330,000 470,000	T	4630 (2)	- 5.1
N_03U00105	1,000,000	U	4840 (2)	- 5.3

3.6.6. Fototransistor SFH 5711

El fototransistor SFH 5711 se define como un sensor de luz ambiental de alta precisión, y ha sido empleado en numerosos dispositivos comerciales, por lo que está altamente probado. Sus características técnicas lo hacen el candidato ideal para la realización de este proyecto.

High Accuracy Ambient Light Sensor Version 1.7

SFH 5711



Features:

- Opto hybrid with logarithmic current output
- Perfect match to Human Eye Sensitivity (V_{λ})
- Low temperature coefficient of spectral sensitivity
- High accuracy over wide illumination range
- The product qualification test plan is based on the guidelines of AEC-Q101-REV-C, Stress Test Qualification for Automotive Grade Discrete Semiconductors.

Applications

- Automotive applications
- Sunlight sensor / head lamp control
- Control of display backlighting
- Mobile devices

Ordering Information

Type:	Output current I_{OUT} [μA] $E_v = 1000 \text{ lx (white LED LW 541C)}$	Ordering Code
SFH 5711-1/2	25 - 30	on request
SFH 5711-2/3	27 - 32	Q65110A4513
SFH 5711-3/4	29 - 34	on request

Note: Only one bin within one packing unit, see characteristics.

Version 1.7

SFH 5711

Maximum Ratings ($T_A = 25\text{ °C}$)

Parameter	Symbol	Values	Unit
Operating and storage temperature range ^{1) page 13}	$T_{op}; T_{stg}$	-40 ... 100	°C
Supply voltage	V_{CC}	6	V
Output voltage	V_{OUT}	$< V_{CC}$	V
Electrostatic discharge (acc. to ANSI/ ESDA/ JEDEC JS-001 - HBM)	V_{ESD}	2000	V

Operating Conditions

Parameter	Symbol	Values			Unit
		min	typ	max	
Supply voltage	V_{CC}	2.3		5.5	V
Illuminance ($T_A = -30\text{ °C} \dots 70\text{ °C}$)	E_V		3 ... 80 k		lx
Illuminance ($T_A = -40\text{ °C} \dots 100\text{ °C}$)	E_V		10 ... 80 k		lx

Characteristics ($T_A = 25\text{ °C}$)

Parameter		Symbol	Values	Unit
Current consumption	(typ)	I_{CC}	0.41	mA
	(max)	I_{CC}	0.5	mA
Current consumption ($E_V = 0, V_{CC} = 5\text{ V}$)	(typ)	I_{CC}	0.42	mA
Current consumption	(typ)	I_{CC}	0.46	mA
	(max)	I_{CC}	0.55	mA
Current consumption ($E_V = 1000\text{ lx}, V_{CC} = 5\text{ V}$)	(typ)	I_{CC}	0.47	mA
Wavelength of max. sensitivity	(min)	$\lambda_{s\text{ max}}$	540	nm
	(typ)	$\lambda_{s\text{ max}}$	555	nm
	(max)	$\lambda_{s\text{ max}}$	570	nm
Spectral range of sensitivity	(min)	$\lambda_{10\%}$	475	nm
	(max)	$\lambda_{10\%}$	650	nm
Dimensions of radiant sensitive area	(typ)	L x W	0.4 x 0.4	mm x mm
Output capacitance	(typ)	C_{OUT}	3	pF
Transfer function (Fig.: Circuitry)	(min)	G	9.5	$\mu\text{A} / \text{dec}$
	(typ)	G	10	$\mu\text{A} / \text{dec}$
	(max)	G	10.5	$\mu\text{A} / \text{dec}$

Version 1.7

SFH 5711

Parameter		Symbol	Values	Unit
Deviation of output characteristics from logarithmic function (Fig.: Circuitry)	(min) (max)	L L	-3 3	% %
Output voltage	(typ)	$V_{OUT\ high}$	$V_{CC} - 0.5$	V
Rise time ($R_L = 25\ k\Omega$, $C = 1\ nF$, Fig.: Definition of Response Time, $E_V = 100 \rightarrow 1000\ lx$)	(typ)	t_r	30	μs
Fall time ($R_L = 25\ k\Omega$, $C = 1\ nF$, Fig.: Definition of Response Time, $E_V = 1000 \rightarrow 100\ lx$)	(typ)	t_f	100	μs
Power on time ($E_V = 1000\ lx$, $V_{CC} = 0\ V \rightarrow V_{CC}$)	(typ) (max)	t_{ON} t_{ON}	0.1 1.2	ms ms
Output accuracy over temperature range ($E_V = 1000\ lx$, $T_A = -40\ ^\circ C \dots 100\ ^\circ C$)	(min) (typ) (max)		-2 ± 1 2	μA
Output accuracy over temperature range ($E_V = 1000\ lx$, $T_A = -30\ ^\circ C \dots 70\ ^\circ C$)	(min) (typ) (max)		-1.5 ± 0.6 1.5	μA
Output accuracy over temperature range ($E_V = 1000\ lx$, $T_A = 0\ ^\circ C \dots 50\ ^\circ C$)	(min) (typ) (max)		-0.7 ± 0.2 0.7	μA
Output dark current ($E_V = 0\ lx$)	(typ) (max)	I_{OUT_dark} I_{OUT_dark}	0.1 100	nA nA

Grouping ($T_A = 25\ ^\circ C$)

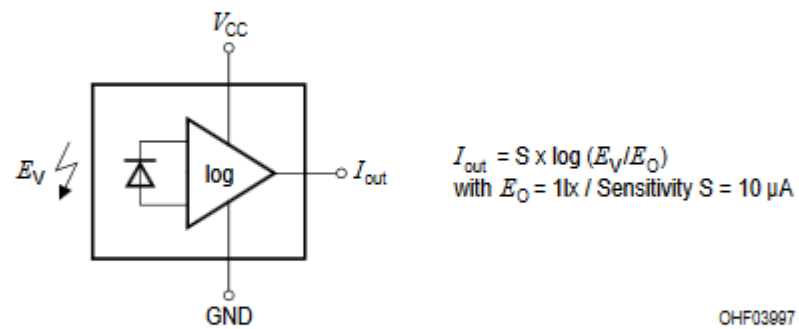
Group	Output current $E_V = 1000\ lx$ (white LED LW 541C) I_{OUT}
SFH 5711-1	25 ... 28
SFH 5711-2	27 ... 30
SFH 5711-3	29 ... 32
SFH 5711-4	31 ... 34

Note: $3\ \mu A$ bin width is equivalent to a spread of 1:2 of the irradiance.

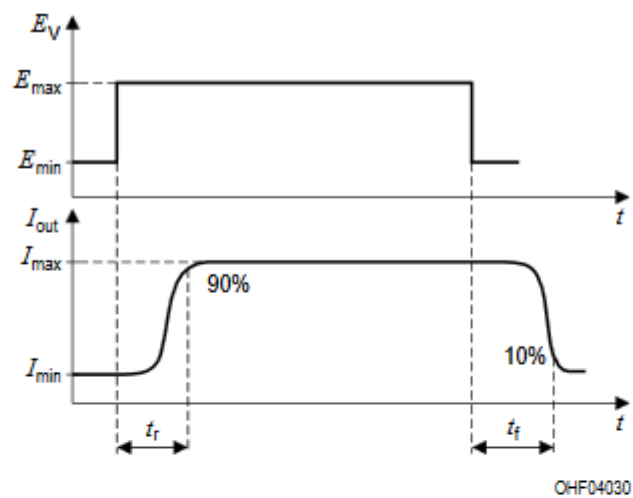
Version 1.7

SFH 5711

Circuitry

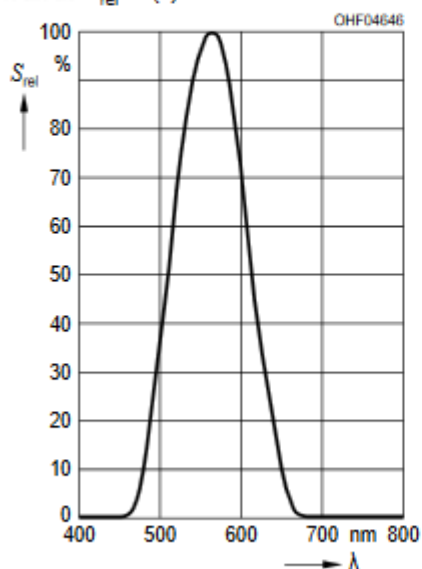
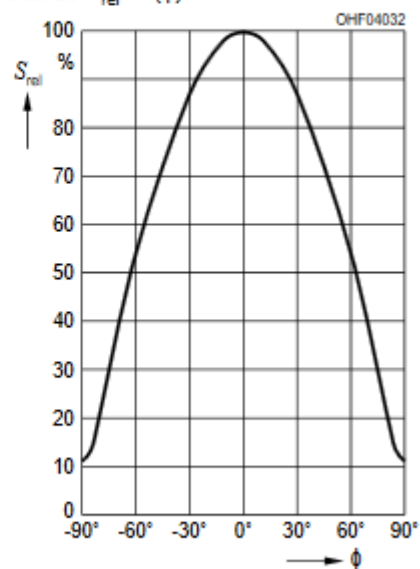
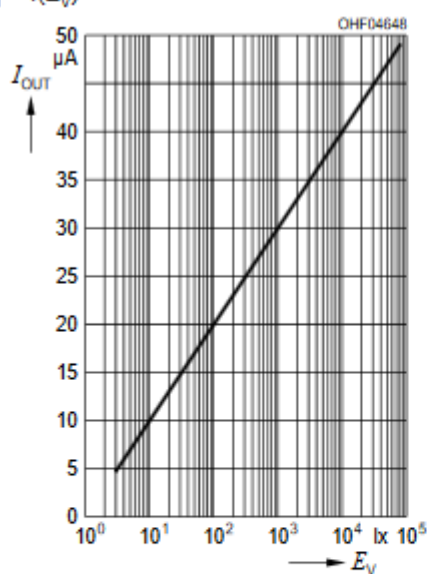
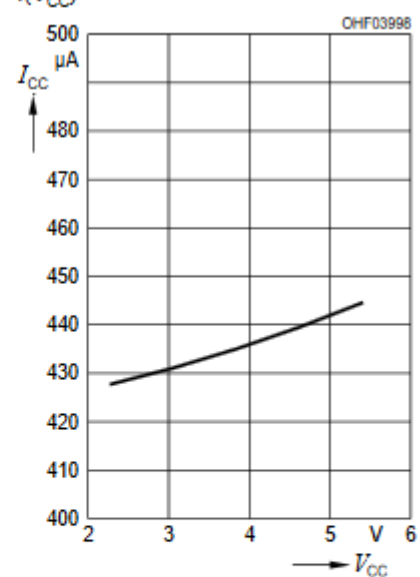


Switching Time Definitions



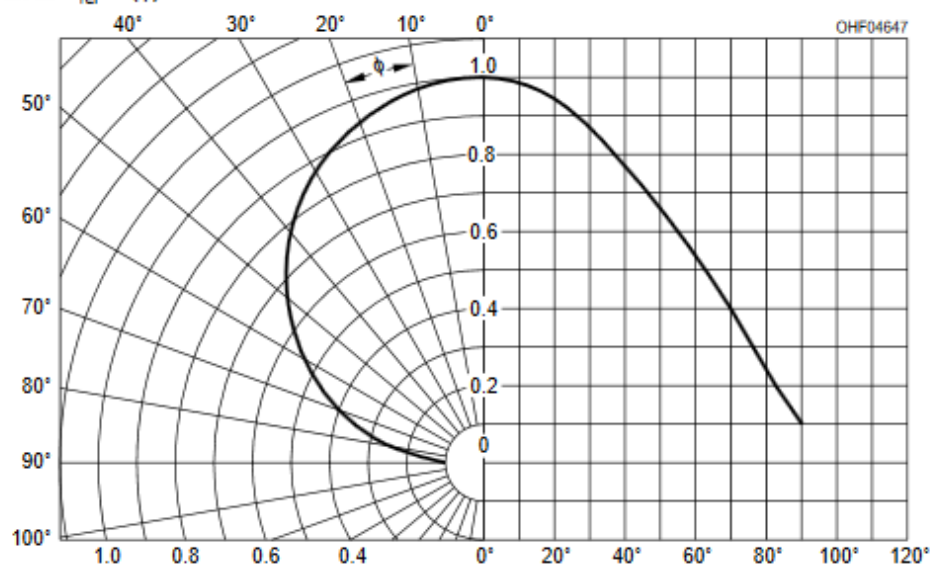
Version 1.7

SFH 5711

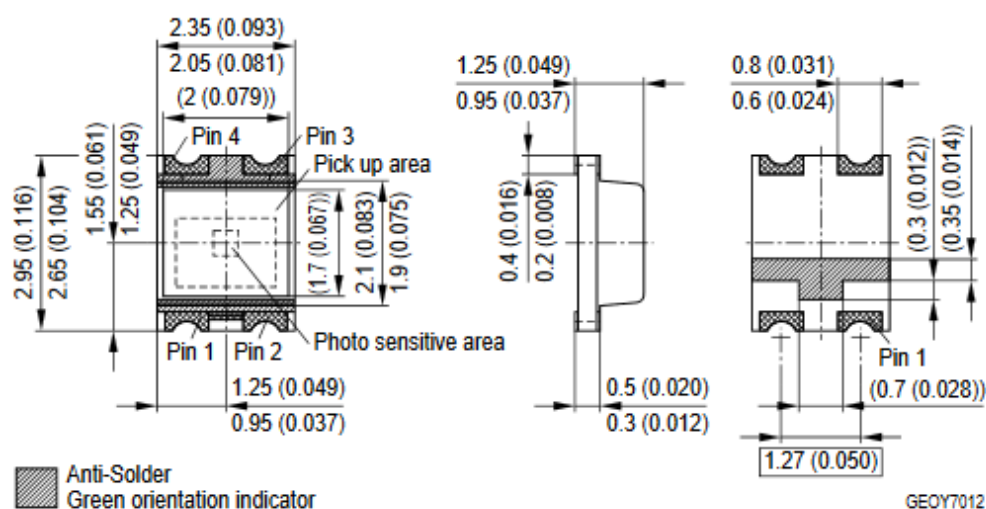
Relative Spectral Sensitivity 2) page 13Photodiode $S_{rel} = f(\lambda)$ **Directional Characteristics** 2) page 13Photodiode $S_{rel} = f(\phi)$ **Output Current** 2) page 13 $I_{OUT} = f(E_V)$ **Current Consumption** 2) page 13 $I_{CC} = f(V_{CC})$ 

Version 1.7

SFH 5711

Directional Characteristics (Horizontal) ²⁾ page 18Photodiode $S_{rel} = f(\phi)$ 

Package Outline



Dimensions in mm (inch).

3.6.7. MOSFET Canal N DMN3024LK3

Este dispositivo semiconductor es el encargado de permitir o no el paso de energía desde la placa principal al panel de sensores, consiguiendo una optimización de los recursos energéticos disponibles en el nodo autosuficiente. Se trata de un transistor MOSFET actuando como interruptor. Sus características técnicas se detallan en las siguientes páginas



A Product Line of
Diodes Incorporated



DMN3024LK3

30V TO252 (DPAK) N-CHANNEL ENHANCEMENT MODE MOSFET

[Please click here to visit our online spice models database.](#)

Product Summary

$V_{DS(on)}$	$R_{DS(on)}$	I_D $T_A = 25^\circ\text{C}$
30V	24m Ω @ $V_{GS} = 10\text{V}$	14.4A
	39m Ω @ $V_{GS} = 4.5\text{V}$	11.6A

Description and Applications

This new generation MOSFET has been designed to minimize the on-state resistance ($R_{DS(on)}$) and yet maintain superior switching performance, making it ideal for high efficiency power management applications.

- Backlighting
- DC-DC Converters
- Power management functions

Features and Benefits

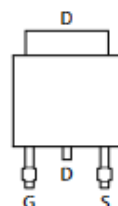
- Low on-resistance
- Fast switching speed
- Low gate drive
- "Green" component and RoHS compliant (Note 1)

Mechanical Data

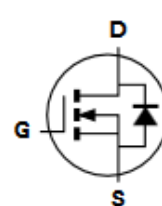
- Case: TO-252 (DPAK)
- Case Material: Molded Plastic, "Green" Molding Compound. UL Flammability Classification Rating 94V-0 (Note 1)
- Moisture Sensitivity: Level 1 per J-STD-020D
- Terminals Connections: See Diagram
- Terminals: Matte Tin Finish annealed over Copper leadframe. Solderable per MIL-STD-202, Method 208
- Marking Information: See Below
- Ordering Information: See Below
- Weight: 0.33 grams (approximate)



TOP VIEW



PIN OUT -TOP VIEW



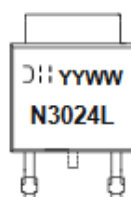
Equivalent Circuit

Ordering Information (Note 1)

Product	Marking	Reel size (inches)	Tape width (mm)	Quantity per reel
DMN3024LK3-13	N3024L	13	16	2,500

Note: 1. Diodes, Inc. defines "Green" products as those which are Eu RoHS compliant and contain no halogens or antimony compounds; further information about Diodes Inc.'s "Green" Policy can be found on our website. For packaging details, go to our website.

Marking Information



DII = Manufacturer's Marking
N3024L = Product Type Marking Code
YYWW = Date Code Marking
YY = Year (ex: 09 = 2009)
WW = Week (01-52)



A Product Line of
Diodes Incorporated



DMN3024LK3

Maximum Ratings @T_A = 25°C unless otherwise specified

Characteristic			Symbol	Value	Unit
Drain-Source voltage			V _{DS}	30	V
Gate-Source voltage			V _{GS}	±20	V
Continuous Drain current	V _{GS} = 10V	(Note 3)	I _D	14.4	A
		T _A = 70°C (Note 3)		12.0	
		(Note 2)		9.78	
Pulsed Drain current	V _{GS} = 10V	(Note 4)	I _{DM}	48.5	A
Continuous Source current (Body diode)			I _S	12	A
Pulsed Source current (Body diode)			I _{SM}	48.5	A

Thermal Characteristics @T_A = 25°C unless otherwise specified

Characteristic		Symbol	Value	Unit
Power dissipation Linear derating factor	(Note 2)	P _D	4.1	W
	(Note 3)		32.5	
	(Note 5)		8.9	
	(Note 6)		71.4	
Thermal Resistance, Junction to Ambient	(Note 2)	R _{θJA}	2.17	°C/W
	(Note 3)		17.4	
	(Note 5)		30.8	
Thermal Resistance, Junction to Lead	(Note 2)	R _{θJL}	14.0	°C/W
	(Note 3)		57.8	
	(Note 5)		2.24	
Operating and storage temperature range		T _J , T _{STG}	-55 to 150	°C

- Notes:
- For a device surface mounted on 50mm x 50mm x 1.6mm FR4 PCB with high coverage of single sided 2oz copper, in still air conditions; the device is measured when operating in a steady-state condition.
 - Same as note 2, except the device is measured at t₁ = 10 sec.
 - Same as note 2, except the device is pulsed with D = 0.02 and pulse width 300 μs. The pulse current is limited by the maximum junction temperature.
 - For a device surface mounted on 25mm x 25mm x 1.6mm FR4 PCB with high coverage of single sided 1oz copper, in still air conditions; the device is measured when operating in a steady-state condition.
 - Thermal resistance from junction to solder-point (at the end of the drain lead).



A Product Line of
Diodes Incorporated



DMN3024LK3

Electrical Characteristics @T_A = 25°C unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit	Test Condition
OFF CHARACTERISTICS						
Drain-Source Breakdown Voltage	BV _{DSS}	30	—	—	V	I _D = 250μA, V _{GS} = 0V
Zero Gate Voltage Drain Current	I _{OSS}	—	—	0.5	μA	V _{DS} = 30V, V _{GS} = 0V
Gate-Source Leakage	I _{GSS}	—	—	±100	nA	V _{GS} = ±20V, V _{DS} = 0V
ON CHARACTERISTICS						
Gate Threshold Voltage	V _{GS(th)}	1.0	—	3.0	V	I _D = 250μA, V _{DS} = V _{GS}
Static Drain-Source On-Resistance (Note 7)	R _{DS(on)}	—	—	0.024	Ω	V _{GS} = 10V, I _D = 7.0A
				0.039		V _{GS} = 4.5V, I _D = 6.0A
Forward Transconductance (Notes 7 & 8)	g _{fs}	—	16.5	—	S	V _{DS} = 15V, I _D = 7.0A
Diode Forward Voltage (Note 7)	V _{SD}	—	0.82	1.2	V	I _S = 1.7A, V _{GS} = 0V
Reverse recovery time (Note 8)	t _{rr}	—	12	—	ns	I _S = 2.2A, di/dt = 100A/μs
Reverse recovery charge (Note 8)	Q _{rr}	—	4.8	—	nC	
DYNAMIC CHARACTERISTICS (Note 8)						
Input Capacitance	C _{iss}	—	608	—	pF	V _{DS} = 15V, V _{GS} = 0V f = 1MHz
Output Capacitance	C _{oss}	—	132	—	pF	
Reverse Transfer Capacitance	C _{rss}	—	71	—	pF	
Total Gate Charge	Q _g	—	12.9	—	nC	V _{DS} = 15V, V _{GS} = 10V I _D = 7A
Gate-Source Charge	Q _{gs}	—	2.5	—	nC	
Gate-Drain Charge	Q _{gd}	—	2.5	—	nC	
Turn-On Delay Time (Note 9)	t _{d(on)}	—	2.9	—	ns	V _{DD} = 15V, V _{GS} = 10V I _D = 1A, R _G = 6.0Ω
Turn-On Rise Time (Note 9)	t _r	—	3.3	—	ns	
Turn-Off Delay Time (Note 9)	t _{d(off)}	—	16	—	ns	
Turn-Off Fall Time (Note 9)	t _f	—	8	—	ns	

- Notes:
7. Measured under pulsed conditions. Pulse width ≤ 300μs; duty cycle ≤ 2%.
 8. For design aid only, not subject to production testing.
 9. Switching characteristics are independent of operating junction temperatures.

3.6.8. AD623. Amplificador de instrumentación para el piranómetro

El piranómetro empleado, CMP11, es un radiómetro de alta precisión que ofrece como salida una señal muy débil. Para el acondicionamiento de esta señal a una señal legible por el ADC del XBee se requiere realizar un acondicionamiento de señal como etapa previa a la lectura. Para este acondicionamiento se ha seleccionado el AD623 por ser un circuito integrado con las resistencias internas compensadas de tal forma que su rechazo al modo común es muy alto. Esto permite realizar una amplificación diferencial casi pura.



Single and Dual-Supply, Rail-to-Rail, Low Cost Instrumentation Amplifier

Data Sheet

AD623**FEATURES**

Easy to use
Rail-to-rail output swing
Input voltage range extends 150 mV below ground
 (single supply)
Low power, 550 μ A maximum supply current
Gain set with one external resistor
 Gain range: 1 to 1000
High accuracy dc performance
 0.10% gain accuracy ($G = 1$)
 0.35% gain accuracy ($G > 1$)
Noise: 35 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ RTI noise at 1 kHz
Excellent dynamic specifications
 800 kHz bandwidth ($G = 1$)
 20 μ s settling time to 0.01% ($G = 10$)

APPLICATIONS

Low power medical instrumentation
 Transducer interfaces
 Thermocouple amplifiers
 Industrial process controls
 Difference amplifiers
 Low power data acquisition

GENERAL DESCRIPTION

The AD623 is an integrated, single- or dual-supply instrumentation amplifier that delivers rail-to-rail output swing using supply voltages from 3 V to 12 V. The AD623 offers superior user flexibility by allowing single gain set resistor programming and by conforming to the 8-lead industry standard pinout configuration. With no external resistor, the AD623 is configured for unity gain ($G = 1$), and with an external resistor, the AD623 can be programmed for gains of up to 1000.

The superior accuracy of the AD623 is the result of increasing ac common-mode rejection ratio (CMRR) coincident with increasing gain; line noise harmonics are rejected due to constant CMRR up to 200 Hz. The AD623 has a wide input common-mode range and amplifies signals with common-mode voltages as low as 150 mV below ground. The AD623 maintains superior performance with dual and single polarity power supplies.

Table 1. Low Power Upgrades for the AD623

Part No.	Total V_S (V dc)	Typical I_Q (μ A)
AD8235	5.5	30
AD8236	5.5	33
AD8237	5.5	33
AD8226	36	350
AD8227	36	325
AD8420	36	85
AD8422	36	300
AD8426	36	325 (per channel)

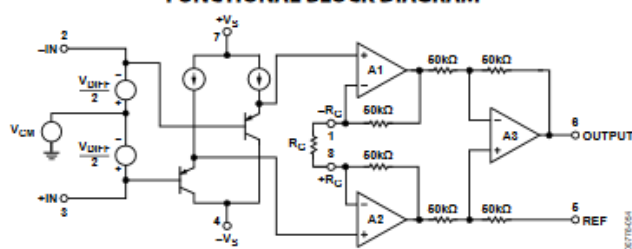
FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM

Figure 1.

Data Sheet

AD623

SPECIFICATIONS

SINGLE SUPPLY

Typical at 25°C, single supply, $+V_S = 5\text{ V}$, $-V_S = 0\text{ V}$, and $R_L = 10\text{ k}\Omega$, unless otherwise noted.

Table 2.

Parameter	Test Conditions/ Comments	AD623A			AD623ARM			AD623B			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
GAIN	$G = 1 + (100\text{ k}/R_G)$	1		1000	1		1000	1		1000	
Gain Range											
Gain Error ¹	$G \leq 1$ $V_{OUT} = 0.15\text{ V to }3.5\text{ V}$ $G > 1$ $V_{OUT} = 0.15\text{ V to }4.5\text{ V}$										
$G = 1$			0.03	0.10		0.03	0.10		0.03	0.05	%
$G = 10$			0.10	0.35		0.10	0.35		0.10	0.35	%
$G = 100$			0.10	0.35		0.10	0.35		0.10	0.35	%
$G = 1000$			0.10	0.35		0.10	0.35		0.10	0.35	%
Nonlinearity	$G \leq 1$ $V_{OUT} = 0.15\text{ V to }3.5\text{ V}$ $G > 1$ $V_{OUT} = 0.15\text{ V to }4.5\text{ V}$										
$G = 1$ to 1000			50			50			50		ppm
Gain vs. Temperature											
$G = 1$			5	10		5	10		5	10	ppm/°C
$G > 1$ ¹			50			50			50		ppm/°C
VOLTAGE OFFSET	Total RTI error = $V_{OS1} + V_{OS0}/G$										
Input Offset, V_{OS1}			25	200		200	500		25	100	μV
Over Temperature				350			650			160	μV
Average Temperature Coefficient (Tempco)			0.1	2		0.1	2		0.1	1	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Output Offset, V_{OS0}			200	1000		500	2000		200	500	μV
Over Temperature				1500			2600			1100	μV
Average Tempco			2.5	10		2.5	10		2.5	10	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Offset Referred to the Input vs. Supply (PSR)											
$G = 1$		80	100		80	100		80	100		dB
$G = 10$		100	120		100	120		100	120		dB
$G = 100$		100	130		100	130		100	130		dB
$G = 1000$		100	130		100	130		100	130		dB
INPUT CURRENT											
Input Bias Current			17	25		17	25		17	25	nA
Over Temperature				27.5			27.5			27.5	nA
Average Tempco			25			25			25		pA/°C
Input Offset Current			0.25	2		0.25	2		0.25	2	nA
Over Temperature				2.5			2.5			2.5	nA
Average Tempco			5			5			5		pA/°C
INPUT											
Input Impedance											
Differential			2 2			2 2			2 2		G pF
Common-Mode			2 2			2 2			2 2		G pF
Input Voltage Range ²	$V_S = 3\text{ V to }12\text{ V}$	$(-V_S) - 0.15$		$(+V_S) - 1.5$	$(-V_S) - 0.15$		$(+V_S) - 1.5$	$(-V_S) - 0.15$		$(+V_S) - 1.5$	V

AD623	Data Sheet
--------------	-------------------

Parameter	Test Conditions/ Comments	AD623A			AD623ARM			AD623B			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Common-Mode Rejection at 60 Hz with 1 k Ω Source Imbalance											
	$V_{CM} = 0\text{ V to }3\text{ V}$	70	80		70	80		77	86		dB
	$G = 10$ $V_{CM} = 0\text{ V to }3\text{ V}$	90	100		90	100		94	100		dB
	$G = 100$ $V_{CM} = 0\text{ V to }3\text{ V}$	105	110		105	110		105	110		dB
	$G = 1000$ $V_{CM} = 0\text{ V to }3\text{ V}$	105	110		105	110		105	110		dB
OUTPUT Output Swing	$R_L = 10\text{ k}\Omega$	0.2		$(+V_S) - 0.5$	0.2		$(+V_S) - 0.5$	0.2		$(+V_S) - 0.5$	V
	$R_L = 100\text{ k}\Omega$	0.05		$(+V_S) - 0.15$	0.05		$(+V_S) - 0.15$	0.05		$(+V_S) - 0.15$	V
DYNAMIC RESPONSE											
Small Signal –3 dB BW $G = 1$ $G = 10$ $G = 100$ $G = 1000$			800			800			800		kHz
			100			100			100		kHz
			10			10			10		kHz
			2			2			2		kHz
Slew Rate			0.3			0.3			0.3		V/ μ s
Settling Time to 0.01% $G = 1$ $G = 10$	$V_S = 5\text{ V}$ Step size: 3.5 V		30			30			30		μ s
	Step size: 4 V, $V_{CM} = 1.8\text{ V}$		20			20			20		μ s

¹ Does not include effects of external resistor, R_L .² One input grounded. $G = 1$.

Data Sheet

AD623

DUAL SUPPLIES

Typical at 25°C dual supply, $V_S = \pm 5\text{ V}$, and $R_L = 10\text{ k}\Omega$, unless otherwise noted.

Table 3.

Parameter	Test Conditions/ Comments	AD623A			AD623ARM			AD623B			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
GAIN	$G = 1 + (100\text{ k}/R_G)$										
Gain Range		1		1000	1		1000	1		1000	
Gain Error ¹	$G \leq 1$ $V_{OUT} = -4.8\text{ V to }+3.5\text{ V}$ $G > 1$ $V_{OUT} = -4.8\text{ V to }+4.5\text{ V}$										
$G = 1$			0.03	0.10		0.03	0.10		0.03	0.05	%
$G = 10$			0.10	0.35		0.10	0.35		0.10	0.35	%
$G = 100$			0.10	0.35		0.10	0.35		0.10	0.35	%
$G = 1000$			0.10	0.35		0.10	0.35		0.10	0.35	%
Nonlinearity	$G \leq 1$ $V_{OUT} = -4.8\text{ V to }+3.5\text{ V}$ $G > 1$ $V_{OUT} = -4.8\text{ V to }+4.5\text{ V}$										
$G = 1$ to 1000			50			50			50		ppm
Gain vs. Temperature											
$G = 1$			5	10		5	10		5	10	ppm/°C
$G > 1$ ¹			50			50			50		ppm/°C
VOLTAGE OFFSET	Total RTI error = $V_{OSI} + V_{OSO}/G$										
Input Offset, V_{OSI}			25	200		200	500		25	100	μV
Over Temperature				350			650			160	μV
Average Tempco			0.1	2		0.1	2		0.1	1	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Output Offset, V_{OSO}			200	1000		500	2000		200	500	μV
Over Temperature				1500			2600			1100	μV
Average Tempco			2.5	10		2.5	10		2.5	10	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Offset Referred to the Input vs. Supply (PSR)											
$G = 1$		80	100		80	100		80	100		dB
$G = 10$		100	120		100	120		100	120		dB
$G = 100$		100	130		100	130		100	130		dB
$G = 1000$		100	130		100	130		100	130		dB
INPUT CURRENT											
Input Bias Current			17	25		17	25		17	25	nA
Over Temperature				27.5			27.5			27.5	nA
Average Tempco			25			25			25		pA/°C
Input Offset Current			0.25	2		0.25	2		0.25	2	nA
Over Temperature				2.5			2.5			2.5	nA
Average Tempco			5			5			5		pA/°C
INPUT											
Input Impedance											
Differential			2 2			2 2			2 2		$G\Omega \text{pF}$
Common-Mode			2 2			2 2			2 2		$G\Omega \text{pF}$
Input Voltage Range ²	$V_S = +2.5\text{ V to } \pm 6\text{ V}$	$(-V_S) - 0.15$		$(+V_S) - 1.5$	$(-V_S) - 0.15$		$(+V_S) - 1.5$	$(-V_S) - 0.15$		$(+V_S) - 1.5$	V

AD623

Data Sheet

Parameter	Test Conditions/ Comments	AD623A			AD623ARM			AD623B			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Common-Mode Rejection at 60 Hz with 1 k Ω Source Imbalance G = 1 G = 10 G = 100 G = 1000	$V_{CM} =$ +3.5 V to -5.15 V	70	80		70	80		77	86		dB
	$V_{CM} =$ +3.5 V to -5.15 V	90	100		90	100		94	100		dB
	$V_{CM} =$ +3.5 V to -5.15 V	105	110		105	110		105	110		dB
	$V_{CM} =$ +3.5 V to -5.15 V	105	110		105	110		105	110		dB
OUTPUT Output Swing	$R_L = 10\text{ k}\Omega$, $V_S = \pm 5\text{ V}$	$(-V_S) + 0.2$		$(+V_S) - 0.5$	$(-V_S) + 0.2$		$(+V_S) - 0.5$	$(-V_S) + 0.2$		$(+V_S) - 0.5$	V
	$R_L = 100\text{ k}\Omega$	$(-V_S) + 0.05$		$(+V_S) - 0.15$	$(-V_S) + 0.05$		$(+V_S) - 0.15$	$(-V_S) + 0.05$		$(+V_S) - 0.15$	V
DYNAMIC RESPONSE Small Signal -3 dB Bandwidth G = 1 G = 10 G = 100 G = 1000 Slew Rate Settling Time to 0.01% G = 1 G = 10	$V_S = \pm 5\text{ V}$, 5 V step										
		800			800			800			kHz
		100			100			100			kHz
		10			10			10			kHz
		2			2			2			kHz
		0.3			0.3			0.3			V/ μ s
		30			30			30			μ s
		20			20			20			μ s

¹ Does not include effects of external resistor, R_L .² One input grounded. $G = 1$.

Data Sheet

AD623

SPECIFICATIONS COMMON TO DUAL AND SINGLE SUPPLIES

Table 4.

Parameter	Test Conditions/ Comments	AD623A			AD623ARM			AD623B			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
NOISE											
Voltage Noise, 1 kHz	Total RTI noise = $\sqrt{(e_{ni})^2 + (2e_{no}/G)^2}$										
Input, Voltage Noise, e_{ni}			35			35			35		nV/√Hz
Output, Voltage Noise, e_{no}			50			50			50		nV/√Hz
RTI, 0.1 Hz to 10 Hz											
G = 1			3.0			3.0			3.0		μV p-p
G = 1000			1.5			1.5			1.5		μV p-p
Current Noise	f = 1 kHz		100			100			100		fA/√Hz
0.1 Hz to 10 Hz			2.5			2.5			2.5		pA p-p
REFERENCE INPUT											
R_{IN}	$V_{IN+}, V_{REF} = 0\text{ V}$		100 ± 20%			100 ± 20%			100 ± 20%		kΩ
I_{IN}			50	60		50	60		50	60	μA
Voltage Range		−V _S		+V _S	−V _S		+V _S	−V _S		+V _S	V
Gain to Output			1 ± 0.0002			1 ± 0.0002			1 ± 0.0002		V
POWER SUPPLY											
Operating Range	Dual supply	±2.5		±6	±2.5		±6	±2.5		±6	V
	Single supply	2.7		12	2.7		12	2.7		12	V
Quiescent Current	Dual supply		375	550		375	550		375	550	μA
	Single supply		305	480		305	480		305	480	μA
Over Temperature				625			625			625	μA
TEMPERATURE RANGE											
For Specified Performance		−40		+85	−40		+85	−40		+85	°C

AD623

Data Sheet

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Table 5.

Parameter	Rating
Supply Voltage	12 V
Internal Power Dissipation ¹	650 mW
Differential Input Voltage	±6 V
Output Short-Circuit Duration	Indefinite
Storage Temperature Range	–65°C to +125°C
Operating Temperature Range	–40°C to +85°C
Lead Temperature (Soldering, 10 sec)	300°C

¹ Specification is for device in free air:
 8-Lead PDIP Package: $\theta_{JA} = 95^{\circ}\text{C/W}$
 8-Lead SOIC Package: $\theta_{JA} = 155^{\circ}\text{C/W}$
 8-Lead MSOP Package: $\theta_{JA} = 200^{\circ}\text{C/W}$

Stresses at or above those listed under Absolute Maximum Ratings may cause permanent damage to the product. This is a stress rating only; functional operation of the product at these or any other conditions above those indicated in the operational section of this specification is not implied. Operation beyond the maximum operating conditions for extended periods may affect product reliability.

ESD CAUTION



ESD (electrostatic discharge) sensitive device. Charged devices and circuit boards can discharge without detection. Although this product features patented or proprietary protection circuitry, damage may occur on devices subjected to high energy ESD. Therefore, proper ESD precautions should be taken to avoid performance degradation or loss of functionality.

AD623

Data Sheet

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS

At 25°C, $V_S = \pm 5\text{ V}$, and $R_L = 10\text{ k}\Omega$, unless otherwise noted.

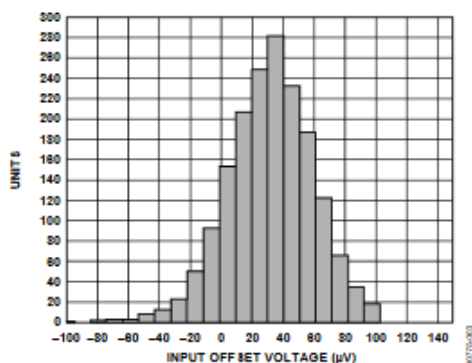


Figure 3. Typical Distribution of Input Offset Voltage, N-8 and R-8 Package Options

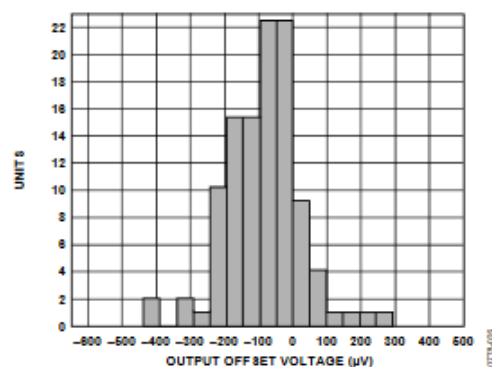


Figure 6. Typical Distribution of Output Offset Voltage, $+V_S = 5\text{ V}$, $-V_S = 0\text{ V}$, $V_{REF} = -0.125\text{ V}$, N-8 and R-8 Package Options

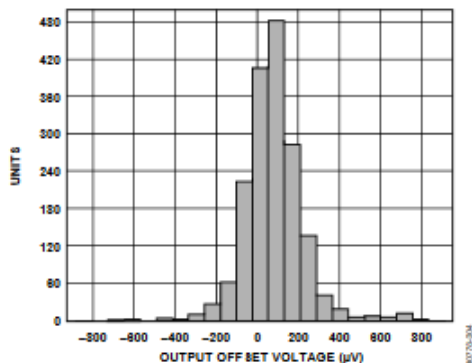


Figure 4. Typical Distribution of Output Offset Voltage, N-8 and R-8 Package Options

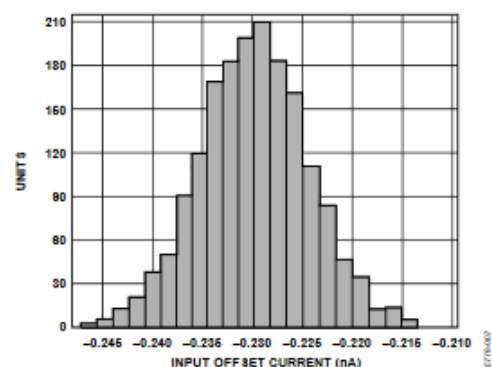


Figure 7. Typical Distribution for Input Offset Current, N-8 and R-8 Package Options

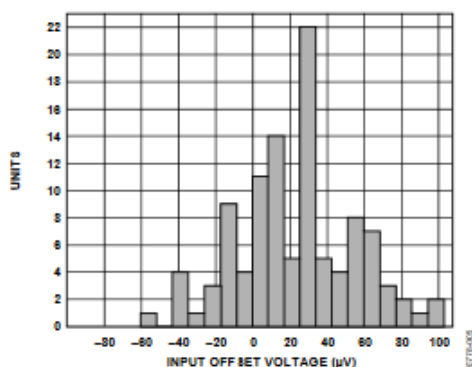


Figure 5. Typical Distribution of Input Offset Voltage, $+V_S = 5\text{ V}$, $-V_S = 0\text{ V}$, $V_{REF} = -0.125\text{ V}$, N-8 and R-8 Package Options

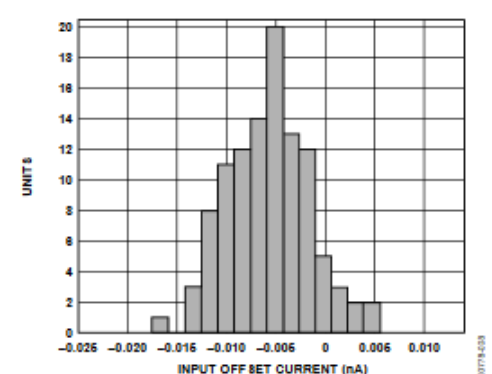


Figure 8. Typical Distribution for Input Offset Current, $+V_S = 5\text{ V}$, $-V_S = 0\text{ V}$, $V_{REF} = -0.125\text{ V}$, N-8 and R-8 Package Options

Data Sheet

AD623

THEORY OF OPERATION

The AD623 is an instrumentation amplifier based on a modified classic 3-op-amp approach, to assure single- or dual-supply operation even at common-mode voltages at the negative supply rail. Low voltage offsets, input and output, as well as absolute gain accuracy, and one external resistor to set the gain, make the AD623 one of the most versatile instrumentation amplifiers in its class.

The input signal is applied to PNP transistors acting as voltage buffers and providing a common-mode signal to the input amplifiers (see Figure 41). An absolute value 50 kΩ resistor in each amplifier feedback assures gain programmability.

The differential output is

$$V_o = \left(1 + \frac{100 \text{ k}\Omega}{R_G} \right) V_c$$

The differential voltage is then converted to a single-ended voltage using the output amplifier, which also rejects any common-mode signal at the output of the input amplifiers.

Because the amplifiers can swing to either supply rail, as well as have their common-mode range extended to below the negative supply rail, the range over which the AD623 can operate is further enhanced (see Figure 20 and Figure 21).

The output voltage at Pin 6 is measured with respect to the potential at Pin 5. The impedance of the reference pin is 100 kΩ; therefore, in applications requiring voltage conversion, a small resistor between Pin 5 and Pin 6 is all that is needed.

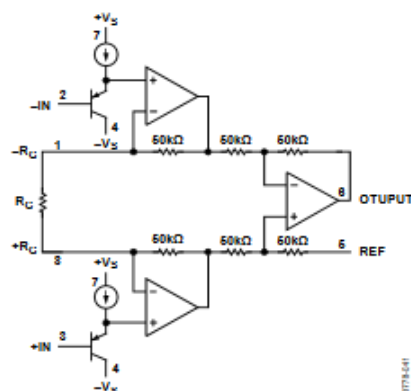


Figure 41. Simplified Schematic

Because of the voltage feedback topology of the internal op amps, the bandwidth of the in-amp decreases with increasing gain. At unity gain, the output amplifier limits the bandwidth.

3.6.9. Piranómetro CMP11. Piranómetro Secondary Standard

El piranómetro CMP11 de Kipp & Zonen es un piránometro de alta precisión que se ha empleado como calibración de los nodos de medición del presente proyecto. Las principales características técnicas se detallan en la siguiente hoja del datasheet

Construction	Unit	CMP 6 / CMA 6	CMP 11 / CMA 11
Temperature sensor		N/A	N/A
Descicant		Silica gel (replaceable)	Silica gel (replaceable)
Housing		Anodized Aluminium body	Anodized Aluminium body
Cable Connector		Shell : CuZn (Brass, Nickel plated)	Shell : CuZn (Brass, Nickel plated)
Chassis connector		Shell : CuZn (Brass, Nickel plated)	Shell : CuZn (Brass, Nickel plated)
		Contacts : CuZn, (Nickel, gold plated)	Contacts : CuZn, (Nickel, gold plated)
Cable		Colour Yellow (RAL 1021), Polyurethane, Halogen free, UV blocking	Colour Yellow (RAL 1021), Polyurethane, Halogen free, UV blocking
Cable length	m	10 (standard), 25, 50 (optional)	10 (standard), 25, 50 (optional)
Cable wires	Pin 1	Red (+)	Red (+)
	Pin 2	Blue (-)	Blue (-)
	Pin 3	Green (+) Albedo sensor facing downward	Green (+) Albedo sensor facing downward
	Pin 4	Yellow (-) Albedo sensor facing downward	Yellow (-) Albedo sensor facing downward
	Pin 5		
	Pin 6		
Bubble level sensitivity	°	0.1 (bubble inside ring)	0.1 (bubble inside ring)
Total weight	kg	0.6 (without cable)	0.6 (without cable)
		0.9 (with 10 m cable)	0.9 (with 10 m cable)
		0.9 (without cable)(Albedometer)	0.9 (without cable)(Albedometer)
		1.2 (with 10 m cable)(Albedometer)	1.2 (with 10 m cable)(Albedometer)
Outer dimensions	mm	79 x 92.5 (WxH), sun shield Ø 150	79 x 92.5 (WxH), sun shield Ø 150
		128 x 114 (WxH), sun shield Ø 150 (Albedometer)	128 x 114 (WxH), sun shield Ø 150 (Albedometer)
Mounting		2 bolts M5 with 65 mm centres. Integral anodized Aluminium tube Ø 16 mm x 350 mm long (Albedometer)	2 bolts M5 with 65 mm centres. Integral anodized Aluminium tube Ø 16 mm x 350 mm long (Albedometer)
Sensor height	mm	68	68
International standards	WMO	Good quality	High quality
	ISO	First Class	Secondary standard
	Shock/Vibration	IEC 721-3-2-2m2	IEC 721-3-2-2m2
	CE	According to EC guideline 89/336/EEC 73/23/EEC	According to EC guideline 89/336/EEC 73/23/EEC
	Protection	IP 67	IP 67
Instrument calibration		Indoors, side by side against reference CM(P) 6 pyranometer, according to ISO 9847:1992 annex A.3.1	Indoors, side by side against reference CM(P) 11 pyranometer, according to ISO 9847:1992 annex A.3.1
Measurement certificates		Sensitivity calibration certificate	Sensitivity calibration certificate

3.6.10. XBee de Digi

A continuación, se detallan las características técnicas más relevantes de los módulos inalámbricos que se emplean para la materialización de este proyecto.

1. XBee®/XBee-PRO® RF Modules

The XBee and XBee-PRO RF Modules were engineered to meet IEEE 802.15.4 standards and support the unique needs of low-cost, low-power wireless sensor networks. The modules require minimal power and provide reliable delivery of data between devices.

The modules operate within the ISM 2.4 GHz frequency band and are pin-for-pin compatible with each other.



Key Features

Long Range Data Integrity

XBee

- Indoor/Urban: up to 100' (30 m)
- Outdoor line-of-sight: up to 300' (90 m)
- Transmit Power: 1 mW (0 dBm)
- Receiver Sensitivity: -92 dBm

XBee-PRO

- Indoor/Urban: up to 300' (90 m), 200' (60 m) for International variant
- Outdoor line-of-sight: up to 1 mile (1600 m), 2500' (750 m) for International variant
- Transmit Power: 63mW (18dBm), 10mW (10dBm) for International variant
- Receiver Sensitivity: -100 dBm

RF Data Rate: 250,000 bps

Advanced Networking & Security

Retries and Acknowledgements
 DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)
 Each direct sequence channels has over 65,000 unique network addresses available
 Source/Destination Addressing
 Unicast & Broadcast Communications
 Point-to-point, point-to-multipoint and peer-to-peer topologies supported

Low Power

XBee

- TX Peak Current: 45 mA (@3.3 V)
- RX Current: 50 mA (@3.3 V)
- Power-down Current: < 10 μ A

XBee-PRO

- TX Peak Current: 250mA (150mA for international variant)
- TX Peak Current (RPSMA module only): 340mA (180mA for international variant)
- RX Current: 55 mA (@3.3 V)
- Power-down Current: < 10 μ A

ADC and I/O line support

Analog-to-digital conversion, Digital I/O
 I/O Line Passing

Easy-to-Use

No configuration necessary for out-of box RF communications
 Free X-CTU Software (Testing and configuration software)
 AT and API Command Modes for configuring module parameters
 Extensive command set
 Small form factor

Worldwide Acceptance

FCC Approval (USA) Refer to Appendix A [p64] for FCC Requirements. Systems that contain XBee®/XBee-PRO® RF Modules inherit Digi Certifications.

ISM (Industrial, Scientific & Medical) **2.4 GHz frequency band**

Manufactured under **ISO 9001:2000** registered standards

XBee®/XBee-PRO® RF Modules are optimized for use in the United States, Canada, Australia, Japan, and Europe. Contact Digi for complete list of government agency approvals.



Specifications

Table 1-01. Specifications of the XBee®/XBee-PRO® RF Modules

Specification	XBee	XBee-PRO
Performance		
Indoor/Urban Range	Up to 100 ft (30 m)	Up to 300 ft (90 m), up to 200 ft (60 m) International variant
Outdoor RF line-of-sight Range	Up to 300 ft (90 m)	Up to 1 mile (1600 m), up to 2500 ft (750 m) international variant
Transmit Power Output (software selectable)	1mW (0 dBm)	63mW (18dBm)* 10mW (10 dBm) for International variant
RF Data Rate	250,000 bps	250,000 bps
Serial Interface Data Rate (software selectable)	1200 bps - 250 kbps (non-standard baud rates also supported)	1200 bps - 250 kbps (non-standard baud rates also supported)
Receiver Sensitivity	-92 dBm (1% packet error rate)	-100 dBm (1% packet error rate)
Power Requirements		
Supply Voltage	2.8 – 3.4 V	2.8 – 3.4 V
Transmit Current (typical)	45mA (@ 3.3 V)	250mA (@3.3 V) (150mA for international variant) RPSMA module only: 340mA (@3.3 V) (180mA for international variant)
Idle / Receive Current (typical)	50mA (@ 3.3 V)	55mA (@ 3.3 V)
Power-down Current	< 10 μ A	< 10 μ A
General		
Operating Frequency	ISM 2.4 GHz	ISM 2.4 GHz
Dimensions	0.960" x 1.087" (2.438cm x 2.761cm)	0.960" x 1.297" (2.438cm x 3.294cm)
Operating Temperature	-40 to 85° C (industrial)	-40 to 85° C (industrial)
Antenna Options	Integrated Whip, Chip or U.FL Connector, RPSMA Connector	Integrated Whip, Chip or U.FL Connector, RPSMA Connector
Networking & Security		
Supported Network Topologies	Point-to-point, Point-to-multipoint & Peer-to-peer	
Number of Channels (software selectable)	16 Direct Sequence Channels	12 Direct Sequence Channels
Addressing Options	PAN ID, Channel and Addresses	PAN ID, Channel and Addresses
Agency Approvals		
United States (FCC Part 15.247)	OUR-XBEE	OUR-XBEEPRO
Industry Canada (IC)	4214A XBEE	4214A XBEEPRO
Europe (CE)	ETSI	ETSI (Max. 10 dBm transmit power output)*
Japan	R201WW07215214	R201WW08215111 (Max. 10 dBm transmit power output)*
Australia	C-Tick	C-Tick

* See Appendix A for region-specific certification requirements.

Antenna Options: The ranges specified are typical when using the integrated Whip (1.5 dBi) and Dipole (2.1 dBi) antennas. The Chip antenna option provides advantages in its form factor; however, it typically yields shorter range than the Whip and Dipole antenna options when transmitting outdoors. For more information, refer to the "XBee Antennas" Knowledgebase Article located on Digi's Support Web site

Mechanical Drawings

Figure 1-01. Mechanical drawings of the XBee®/XBee-PRO® RF Modules (antenna options not shown)

Pin Signals

Figure 1-03. XBee®/XBee-PRO® RF Module Pin Numbers

(top sides shown - shields on bottom)

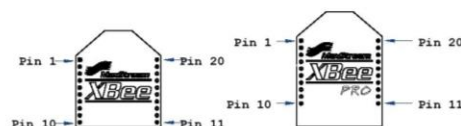


Table 1-02. Pin Assignments for the XBee and XBee-PRO Modules

(Low-asserted signals are distinguished with a horizontal line above signal name.)

Pin #	Name	Direction	Description
1	VCC	-	Power supply
2	DOUT	Output	UART Data Out
3	DIN / <u>CONFIG</u>	Input	UART Data In
4	DO8*	Output	Digital Output 8
5	<u>RESET</u>	Input	Module Reset (reset pulse must be at least 200 ns)
6	PWM0 / RSSI	Output	PWM Output 0 / RX Signal Strength Indicator
7	PWM1	Output	PWM Output 1
8	[reserved]	-	Do not connect
9	<u>DTR</u> / SLEEP_RQ / DI8	Input	Pin Sleep Control Line or Digital Input 8
10	GND	-	Ground
11	AD4 / DIO4	Either	Analog Input 4 or Digital I/O 4
12	<u>CTS</u> / DIO7	Either	Clear-to-Send Flow Control or Digital I/O 7
13	ON / <u>SLEEP</u>	Output	Module Status Indicator
14	VREF	Input	Voltage Reference for A/D Inputs
15	Associate / AD5 / DIO5	Either	Associated Indicator, Analog Input 5 or Digital I/O 5
16	<u>RTS</u> / AD6 / DIO6	Either	Request-to-Send Flow Control, Analog Input 6 or Digital I/O 6
17	AD3 / DIO3	Either	Analog Input 3 or Digital I/O 3
18	AD2 / DIO2	Either	Analog Input 2 or Digital I/O 2
19	AD1 / DIO1	Either	Analog Input 1 or Digital I/O 1
20	AD0 / DIO0	Either	Analog Input 0 or Digital I/O 0

* Function is not supported at the time of this release

Design Notes:

- Minimum connections: VCC, GND, DOUT & DIN
- Minimum connections for updating firmware: VCC, GND, DIN, DOUT, RTS & DTR
- Signal Direction is specified with respect to the module
- Module includes a 50k Ω pull-up resistor attached to RESET
- Several of the input pull-ups can be configured using the PR command
- Unused pins should be left disconnected

Electrical Characteristics

Table 1-03. DC Characteristics (VCC = 2.8 - 3.4 VDC)

Symbol	Characteristic	Condition	Min	Typical	Max	Unit
V _{IL}	Input Low Voltage	All Digital Inputs	-	-	0.35 * VCC	V
V _{IH}	Input High Voltage	All Digital Inputs	0.7 * VCC	-	-	V
V _{OL}	Output Low Voltage	I _{OL} = 2 mA, VCC ≥ 2.7 V	-	-	0.5	V
V _{OH}	Output High Voltage	I _{OH} = -2 mA, VCC ≥ 2.7 V	VCC - 0.5	-	-	V
I _{IIN}	Input Leakage Current	V _{IN} = VCC or GND, all inputs, per pin	-	0.025	1	μA
I _{IOZ}	High Impedance Leakage Current	V _{IN} = VCC or GND, all I/O High-Z, per pin	-	0.025	1	μA
TX	Transmit Current	VCC = 3.3 V	-	45 (XBee) 215, 140 (PRO, Int)	-	mA
RX	Receive Current	VCC = 3.3 V	-	50 (XBee) 55 (PRO)	-	mA
PWR-DWN	Power-down Current	SM parameter = 1	-	< 10	-	μA

Table 1-04. ADC Characteristics (Operating)

Symbol	Characteristic	Condition	Min	Typical	Max	Unit
V _{REFH}	VREF - Analog-to-Digital converter reference range		2.08	-	V _{DDAD} *	V
I _{REF}	VREF - Reference Supply Current	Enabled	-	200	-	μA
		Disabled or Sleep Mode	-	< 0.01	0.02	μA
V _{INDC}	Analog Input Voltage ¹		V _{SSAD} - 0.3	-	V _{DDAD} + 0.3	V

1. Maximum electrical operating range, not valid conversion range.

* V_{DDAD} is connected to VCC.

Table 1-05. ADC Timing/Performance Characteristics¹

Symbol	Characteristic	Condition	Min	Typical	Max	Unit
R _{AS}	Source Impedance at Input ²		-	-	10	kΩ
V _{AIN}	Analog Input Voltage ³		V _{REFL}		V _{REFH}	V
RES	Ideal Resolution (1 LSB) ⁴	2.08V ≤ V _{DDAD} ≤ 3.6V	2.031	-	3.516	mV
DNL	Differential Non-linearity ⁵		-	±0.5	±1.0	LSB
INL	Integral Non-linearity ⁶		-	±0.5	±1.0	LSB
E _{ZS}	Zero-scale Error ⁷		-	±0.4	±1.0	LSB
F _{FS}	Full-scale Error ⁸		-	±0.4	±1.0	LSB
E _{IL}	Input Leakage Error ⁹		-	±0.05	±5.0	LSB
E _{TU}	Total Unadjusted Error ¹⁰		-	±1.1	±2.5	LSB

1. All ACCURACY numbers are based on processor and system being in WAIT state (very little activity and no IO switching) and that adequate low-pass filtering is present on analog input pins (filter with 0.01 μF to 0.1 μF capacitor between analog input and VREFL). Failure to observe these guidelines may result in system or microcontroller noise causing accuracy errors which will vary based on board layout and the type and magnitude of the activity.

Data transmission and reception during data conversion may cause some degradation of these specifications, depending on the number and timing of packets. It is advisable to test the ADCs in your installation if best accuracy is required.

2. R_{AS} is the real portion of the impedance of the network driving the analog input pin. Values greater than this amount may not fully charge the input circuitry of the ATD resulting in accuracy error.

3. Analog input must be between V_{REFL} and V_{REFH} for valid conversion. Values greater than V_{REFH} will convert to \$3FF.

4. The resolution is the ideal step size or 1LSB = (V_{REFH} - V_{REFL})/1024

5. Differential non-linearity is the difference between the current code width and the ideal code width (1LSB). The current code width is the difference in the transition voltages to and from the current code.

6. Integral non-linearity is the difference between the transition voltage to the current code and the adjusted ideal transition voltage for the current code. The adjusted ideal transition voltage is (Current Code - 1/2) * (1 / ((V_{REFH} + E_{FS}) - (V_{REFL} + E_{ZS}))).

7. Zero-scale error is the difference between the transition to the first valid code and the ideal transition to that code. The ideal transition voltage to a given code is (Code - 1/2) * (1 / (V_{REFH} - V_{REFL})).

8. Full-scale error is the difference between the transition to the last valid code and the ideal transition to that code. The ideal transition voltage to a given code is (Code - 1/2) * (1 / (V_{REFH} - V_{REFL})).

9. Input leakage error is error due to input leakage across the real portion of the impedance of the network driving the analog pin. Reducing the impedance of the network reduces this error.

3.7. Código fuente

3.7.1. MainGUI

MainGUI es el script principal de la interfaz de usuario. Es un unificador de todas las funciones y que permite un fácil control, gestión y visualización al operario.

```
function varargout = mainGUI(varargin)
% MAINGUI MATLAB code for mainGUI.fig
%     MAINGUI, by itself, creates a new MAINGUI or raises the existing
%     singleton*.
%
%     H = MAINGUI returns the handle to a new MAINGUI or the handle to
%     the existing singleton*.
%
%     MAINGUI('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls the local
%     function named CALLBACK in MAINGUI.M with the given input arguments.
%
%     MAINGUI('Property','Value',...) creates a new MAINGUI or raises the
%     existing singleton*. Starting from the left, property value pairs are
%     applied to the GUI before mainGUI_OpeningFcn gets called. An
%     unrecognized property name or invalid value makes property application
%     stop. All inputs are passed to mainGUI_OpeningFcn via varargin.
%
%     *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows only one
%     instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the response to help mainGUI

% Last Modified by GUIDE v2.5 16-Sep-2018 13:15:15

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',   gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @mainGUI_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @mainGUI_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',  [] , ...
                  'gui_Callback',    []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
```

```

else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before mainGUI is made visible.
function mainGUI_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to mainGUI (see VARARGIN)

% Choose default command line output for mainGUI
handles.output = hObject;
if(~exist('DataAcquisition','dir'))
    mkdir('DataAcquisition');
end
try
    fclose(instrfind); %Intento cerrar los puertos series abiertos
catch
end
try
    s = serial('COM3');
    set(s, 'Terminator', 'LF');
    set(s, 'Timeout', 1);
    set(s, 'BaudRate', 115200);
    set(s, 'DataBits', 8);
    set(s, 'InputBufferSize', 10*512);
    set(s, 'OutputBufferSize', 10*1024);
    set(s, 'StopBits', 1);
    fopen(s);
catch
    warning('No se ha podido abrir el puerto de serie')
end

Debug.Enable = 0; % Si debug enable != 0 -> Guardo los frames en un fichero
Debug.Print = 0; % Si DebugPrint !=0 -> Imprimo en el command windows información relevante
motes.number_of_motes = 0;
motes.number_of_sensors = 3;
motes.MAC = {};
motes.NI = {};
motes.coordinatorMAC = '0013A20040D7EA6D';
motes.RAW.samples = [];
motes.RAW.timestamp = {};
motes.snapshot.values = zeros(motes.number_of_motes, motes.number_of_sensors); % Matrix of
values
motes.snapshot.inserted = zeros(motes.number_of_motes,1); % Matrix of inserted values
motes.snapshot.sensors.s1 = [];
motes.snapshot.sensors.s2 = [];
motes.snapshot.sensors.s3 = [];
motes.snapshot.timestamp = {};

```

```

[fMIRaw, fDebug] = filemanager(Debug.Enable);
Debug.Frame=[];
handles.motes = motes;
handles.fMIRaw = fMIRaw;
handles.fDebug = fDebug;
handles.Debug = Debug;
handles.query_time = tic;
handles.s = s;
% handles.timer = timer(...
%                               'ExecutionMode', 'fixedRate', ...
%                               'Period', 1, ...
%                               'TimerFcn', {@handle_serial, handles});
%start(handles.timer);
% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes mainGUI wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.main);

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = mainGUI_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
% varargout cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

% --- Executes on button press in ND_btn.
function ND_btn_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to ND_btn (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of ND_btn
while(get(hObject,'Value'))
    s = handles.s;
    set(handles.acquire_btn, 'Enable', 'off');
    set(handles.IR_btn, 'Enable', 'off');

    if(toc(handles.query_time)> 15)
        frame = remoteATframegenerator('000000000000FFFF', 'ND', '');
        fwrite(s, frame);
        handles.query_time = tic;
    end

    handle_serial;

    try
        set(handles.table, 'Data', [handles.motes.MAC, handles.motes.NI]);
        guidata(hObject, handles);
    end
end

```

```

        catch
            warning('Problemas con las matrices')
        end
        drawnow;
    end
    set(handles.acquire_btn, 'Enable', 'on');
    set(handles.IR_btn, 'Enable', 'on');

    % --- Executes on button press in acquire_btn.
    function acquire_btn_Callback(hObject, eventdata, handles)
    % hObject    handle to acquire_btn (see GCBO)
    % eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
    % handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

    % Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of acquire_btn
    first_time = 1;
    set(handles.ND_btn, 'Enable', 'off');
    set(handles.autosave_txt, 'Enable', 'off');
    while(get(hObject,'Value'))
        if(first_time)
            inittimestamp=datetime('now'), 'yyyy-mm-dd HH.MM.ss');
            first_time = 0;
        %         if handles.s.BytesAvailable ~= 0
        %             fread(handles.s, handles.s.BytesAvailable);
        %         end
        fflush(handles.s);

        fprintf('\nBuffer Limpiado!\n');
        fprintf('\nInicio de adquisición\n');
        sampling_time = tic;
        autosave_time = tic;
        guidata(hObject, handles);
        fflush(handles.s)

        set(handles.bytes_info, 'String', ['Bytes Available: '
num2str(handles.s.BytesAvailable)]);
        handles.motes.RAW.samples = [];
        handles.motes.RAW.timestamp = {};
        handles.motes.snapshot.values = zeros(handles.motes.number_of_motes,
handles.motes.number_of_sensors); % Matrix of values
        handles.motes.snapshot.inserted = zeros(handles.motes.number_of_motes,1); % Matrix
of inserted values
        handles.motes.snapshot.sensors.s1 = [];
        handles.motes.snapshot.sensors.s2 = [];
        handles.motes.snapshot.sensors.s3 = [];
        handles.motes.snapshot.timestamp = {};
        handles.adquisition.inittimestamp = inittimestamp;
    end
    handle=tic;
    handle_serial_2
    %     handle_serial
    toc(handle)
    set(handles.sampling_info, 'String', ['Sampling time: ' num2str(toc(sampling_time),

```



```

'%.1f') ' s']]);
    if(toc(autosave_time)> str2num(handles.autosave_txt.String)*60)
        %set(handles.acquire_btn, 'Value', 0);
        motes = handles.motes;
        save(['DataAcquisition/motes-' handles.adquisition.inittimestamp '.mat'], 'motes')
        autosave_time = tic;
        clear motes;
    end
    guidata(hObject, handles);
    drawnow;
    pause(100/1000) %Esperar 10 ms hasta la siguiente iteraccion
end
if(~get(hObject, 'value'))
    fprintf('\nFin de Adquisición\n')
    motes = handles.motes;
    save(['DataAcquisition/motes-' handles.adquisition.inittimestamp '.mat'], 'motes')
    try
        debug_plots
    catch
        warning('No había datos o ha ocurrido algun problema');
    end
    handles.motes.RAW.samples = [];
    handles.motes.RAW.timestamp = {};
    handles.motes.snapshot.values = zeros(handles.motes.number_of_motes,
handles.motes.number_of_sensors); % Matrix of values
    handles.motes.snapshot.inserted = zeros(handles.motes.number_of_motes,1); % Matrix of
inserted values
    handles.motes.snapshot.sensors.s1 = [];
    handles.motes.snapshot.sensors.s2 = [];
    handles.motes.snapshot.sensors.s3 = [];
    handles.motes.snapshot.timestamp = {};
    guidata(hObject, handles);
end
set(handles.ND_btn, 'Enable', 'on');
set(handles.autosave_txt, 'Enable', 'on');

% --- Executes on button press in sleep_btn.
function sleep_btn_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to sleep_btn (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% --- Executes on button press in tbs_btn.
function tbs_btn_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to tbs_btn (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% --- Executes on button press in IR_btn.

```



```

function IR_btn_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to IR_btn (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
    %{'000000000000FFFF'}, {'IR'}, {'01F4'}

    if(isfield(handles.motes, 'selectedMACs') && length(handles.motes.selectedMACs)>=1)
        idxs = handles.motes.selectedMACs;
        IR = str2num(handles.IR_txt.String);
        len = length(dec2hex(IR)) + mod(length(dec2hex(IR)),2); %Lo convierto en longitud
        par para que remoteAT... lo digiera bien
        IR_value = dec2hex(IR, max(len,4))
        for i=1:length(idxs)
            frame = remoteATframegenerator(handles.motes.MAC{idxs(i)}, 'IR',
num2str(IR_value)); %01f4 debe ser reemplazado por el contenido de IR param
            if handles.s.BytesAvailable ~= 0
                fread(handles.s, handles.s.BytesAvailable);
            end
            fwrite(handles.s, frame);
            data = handles.table.Data;
            data{idxs(i),3} = 'IR';
            data{idxs(i),4} = 'No Response';
            set(handles.table, 'Data', data);
            guidata(hObject, handles);
            drawnow;
            pause(277/1000);
            handle_serial
        end
    end

% --- Executes on button press in NH_btn.
function NH_btn_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to NH_btn (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

function sleep_txt_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to sleep_txt (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of sleep_txt as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of sleep_txt as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function sleep_txt_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to sleep_txt (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB

```

```

% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultuicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function tbs_txt_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to tbs_txt (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of tbs_txt as text
%       str2double(get(hObject,'String')) returns contents of tbs_txt as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function tbs_txt_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to tbs_txt (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultuicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function IR_txt_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to IR_txt (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of IR_txt as text
%       str2double(get(hObject,'String')) returns contents of IR_txt as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function IR_txt_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to IR_txt (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),

```

```

get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function NH_txt_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to NH_txt (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of NH_txt as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of NH_txt as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function NH_txt_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to NH_txt (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%        See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes when selected cell(s) is changed in table.
function table_CellSelectionCallback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to table (see GCBO)
% eventdata  structure with the following fields (see MATLAB.UI.CONTROL.TABLE)
%        Indices: row and column indices of the cell(s) currently selected
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
unicos = unique(eventdata.Indices(:,1));
handles.motes.selectedMACs = unicos;
set(handles.info_selected, 'String', ['Motes Selected: '
num2str(length(handles.motes.selectedMACs))]);
guidata(hObject, handles);

function autosave_txt_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to autosave_txt (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of autosave_txt as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of autosave_txt as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.

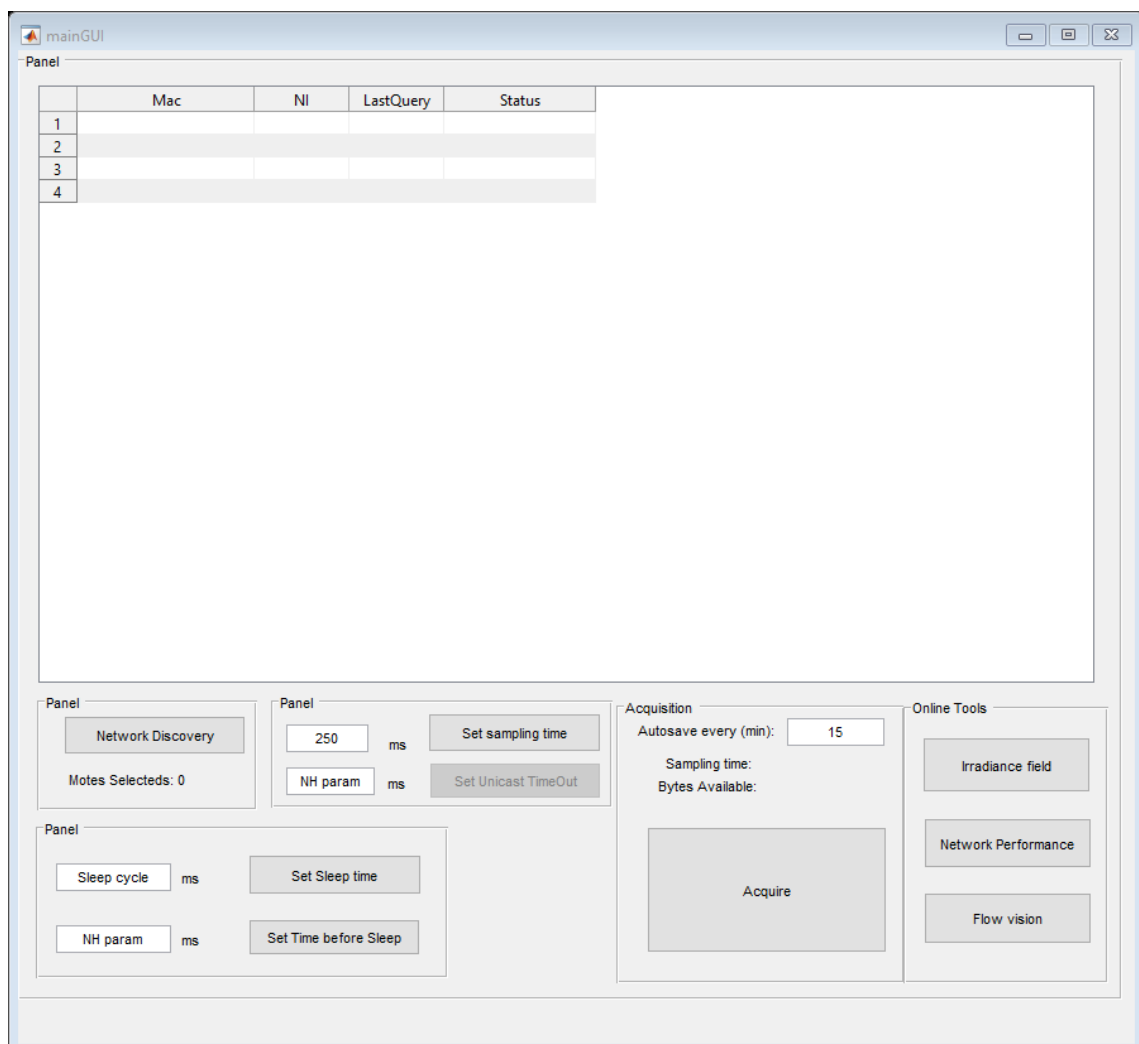
```

```

function autosave_txt_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to autosave_txt (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles     empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```



Published with MATLAB® R2016a

3.7.2. MainScript

Este Script es muy similar a MainGUI, pero sin interfaz gráfica y con funciones limitada. Especialmente diseñado para equipos que van a funcionar desatendidos, o con baja capacidad de recursos.

```
clear; clc; close all; fclose all;
% Variables Externas para el usuario
    Debug.Enable = 0; % Si debug enable != 0 -> Guardo los frames en un fichero
    Debug.Print = 0; % Si DebugPrint !=0 -> Imprimo en el command windows información
    relevante
% Comprubelo si existe el directorio para la adquisición de datos
% y si no existe, lo creo nuevo.
if(~exist('DataAcquisition','dir'))
    mkdir('DataAcquisition');
end

try
    fclose(instrfind); %Intento cerrar los puertos series abiertos
catch
end

s = serial('COM15');
set(s, 'Terminator', 'LF');
set(s, 'Timeout', 5);
set(s, 'BaudRate', 115200);
set(s, 'DataBits', 8);
set(s, 'InputBufferSize', 10*512);
set(s, 'OutputBufferSize', 100*1024);
set(s, 'StopBits', 1);
fopen(s);
Query.PendingArray= [{'000000000000FFFF'}, {'IR'}, {'01F4'}]; % 03E8 -> 1000ms; 01F4 -> 500
ms; 00F4 --> 250 ms
                {'000000000000FFFF'}, {'IR'}, {'00'}]; % array([Address], {Query
Command}, {Query parameters})
Query.Time_between_queries = 60*10; % Time in seconds to try a new query

motes.number_of_motes = 6;
motes.number_of_sensors = 3;
motes.MAC = {};
motes.NI = {};
motes.RAW.samples = [];
motes.RAW.timestamp ={};
motes.snapshot.values = zeros(motes.number_of_motes, motes.number_of_sensors); % Matrix of
values
motes.snapshot.inserted = zeros(motes.number_of_motes,1); % Matrix of inserted values
motes.snapshot.sensors.s1 = [];
motes.snapshot.sensors.s2 = [];
motes.snapshot.sensors.s3 = [];
```

```

motes.snapshot.timestamp = {};

[fMIRaw, fDebug] = filemanager(Debug.Enable);

t_request_sample = tic;
t_queries = uint64(65146546310000); % Tiempo casi nulo para ejecutar el primer query
inmediatamente
Debug.Frame=[];
adquiere = 1;
while(adquiere) %Mientras haya Queries pendientes de ejecutar
    while s.BytesAvailable >= 3 %Espero al menos a que hayan dos frames completos para
evitar error de lectura
        if s.BytesAvailable >= 3 %uno para el starting, y dos para determinar la longitud
            isStarting = fread(s, 1); %Leo para comprobar si es el Byte de inicio.
        else
            warning('No data available in Serial. ');
            continue; % Don't Break, just return to first line
        end
        if isStarting == hex2dec('7E') % Start Byte delimiter
            if (~isempty(Debug.Frame))
                if (Debug.Enable)
                    [fDebug] = data2txt('FAULT', Debug.Frame, fDebug); %Save to file
                end
                if (Debug.Print)
                    Debug.Frame
                    Debug.Frame = [];
                end
            end
            if s.BytesAvailable >= 2
                hexlength = fread(s, 2); %Lectura de los 2 Bytes de longitud
            else
                warning('No data available in Serial. ');
                continue;
            end
            frameLength = hexlength(1) * 256 + hexlength(2); %longitud del frame
            if (frameLength > 255) %maximum payload
                break; % Si la longitud del frame supera el tamaño esperado, vuelvo al
bucle inicial
            end
            while (s.BytesAvailable < (frameLength + 1)) %bucle de espera hasta tener todo
los datos
                pause(1/1000); %1 ms delay
            end

            dataFrame = fread(s, frameLength); %desde frametype hasta checksum
            %dec2hex(dataFrame);
            if s.BytesAvailable ~= 0
                checksum = fread(s, 1); %Lectura del byte de "checksum"
                fullFrame = dec2hex([isStarting; hexlength; dataFrame; checksum]);
            else
                %error('xbee:remoteAtCommand:ChkSumErr', 'There is no Checksum. Packet
framing error. ');
            end
        end
    end
end

```

```

        % Procesar el frame de datos y extraer información.
        latestFrame = extractFrameData(dataFrame, frameLength);
%       Motes.LastSeen=update_lastseen(Motes.LastSeen, latestFrame.srcAddress64);
        if(Debug.Enable)
            fprintf(fDebug, '%s\n', num2str(dataFrame));
        end
        if(~isempty(latestFrame))
            if((latestFrame.frameType==hex2dec('92')) ||
(latestFrame.frameType==hex2dec('97') && strcmp(latestFrame.ATCommand,'IS') &&
(latestFrame.state == 0) ) ) % Data from Internal Sensor Network
                %[fMIRaw] = data2txt('MI', latestFrame, fMIRaw); %Save to file
                handle_samples
            elseif( latestFrame.frameType==hex2dec('97') && (latestFrame.state == 0) )
%handling custom OK queries responses
                try
                    isLastQuery = strcmp(latestFrame.ATCommand, Query.LastQuery(2));
                catch
                    isLastQuery = 0;
                end
                if (isLastQuery) %Que debo hacer cuando recibo respuesta del comando
último que he ejecutado
                    index = find(strcmp(Query.PendingExecution, sprintf('%s',
latestFrame.srcAddress64))); %Busco si esta la dirección en el array
                    Query.PendingExecution(index)= []; %Elimino las pendiente de
ejecutar
                end
            end
        else
            %warning('Current byte is not a start delimiter. Discarding it');
            %isStarting
            Debug.Frame = [Debug.Frame, isStarting];
        end
    end

    pause(1/1000) %Esperar 10 ms hasta la siguiente iteraccion

    % The next block execute a query from Pending field of Query structure
    % if there isn't Query with pending execution and time between queries has been expired
    t_query_elapsed = toc(t_queries);
    if(t_query_elapsed > Query.Time_between_queries)
        if(~isempty(Query.PendingArray))
            frame = remoteATframegenerator(Query.PendingArray{1,1},
Query.PendingArray{1,2}, Query.PendingArray{1,3});
            if Debug.Print
                dec2hex(frame)'
            end
            fwrite(s, frame);
            %pause(50/1000);
            Query.PendingArray(1,:) = [];
            t_queries = tic;
        else
            toc(t_queries)
        end
    end

```

```

        adquiere = 0;
    end
end
end
fclose all;
try
    fclose(instrfind);
catch
end
%clear all;
fprintf('\nFin de Adquisición\n')
timestamp=datestr(datetime('now'), 'yyyy-mm-dd HH.MM.ss');
Simple_plot
save(['DataAcquisition/motes-' timestamp '.mat'], 'motes')

```

[Published with MATLAB® R2016a](#)

3.7.3. Handle_Serial

Este script es el principal en gestionar el puerto de serie y el buffer, con las optimizaciones comentadas en las secciones anteriores.

```

s=handles.s;
% s.BytesAvailable
copiabuf=[];
if s.BytesAvailable>0
    copiabuf=fread(s, s.BytesAvailable);
end
    if length(copiabuf) >= 3 %uno para el starting, y dos para determinar la longitud
        isStarting = copiabuf(1); %Leo para comprobar si es el Byte de inicio.
    end
    while length(copiabuf) > 5
        isStarting = copiabuf(1);
        if isStarting ~= hex2dec('7E') % Start Byte delimiter
            copiabuf(1)=[];
            continue
        end
        hexlength = copiabuf(2:3); %Lectura de los 2 Bytes de longitud
        frameLength = hexlength(1) * 256 + hexlength(2); %longitud del frame
        if (frameLength > 255 || frameLength < 3 || frameLength+3 > length(copiabuf))
%maximum payload
            copiabuf(1)=[];
            continue; % Si la longitud del frame supera el tamaño esperado, vuelvo al
bucle inicial
        end
        try
            dataFrame=copiabuf(4:4+frameLength-1); %desde frametype hasta checksum

```



```

        checksum=copiabuf(4+frameLength); %Lectura del byte de "checksum"
        frame_checksum = hex2dec('FF') - mod(sum(dataFrame), 256);
    catch
        display('Error')
    end
    if(checksum == frame_checksum)
        % Procesar el frame de datos y extraer información.
        try
            latestFrame = extractFrameData(dataFrame, frameLength);
            copiabuf(1:4+frameLength)=[]; %Se borra el frame y se sigue con el
siguiente si hay
        catch
            copiabuf(1)=[];
            continue
        end
        %%disp(latestFrame.srcAddress64);
    else
        % warning('Checksum Error'); % Warning quitado para poder
        % observar por qué peta la red
        copiabuf(1)=[]; % Borra el Byte de inicio y sigue
        continue;
    end
    if((latestFrame.frameType==hex2dec('92')) ||
(latestFrame.frameType==hex2dec('97') && strcmp(latestFrame.ATCommand,'IS') &&
(latestFrame.state == 0) ) ) % Data from Internal Sensor Network
        %[fMIRaw] = data2txt('MI', latestFrame, fMIRaw); %Save to file
        handle_samples
    end
end
end
guidata(hObject, handles);

```

[Published with MATLAB® R2016a](#)

3.7.4. Handle Samples

Este script gestiona las muestras del ADC recibidas por el coordinador.

```

sensors =[];
MI = latestFrame.MI;
for i=1:2:length(MI)
    sensors = [sensors, hex2dec(MI(i,:))*255+hex2dec(MI(i+1,:))];
end
motes = handles.motes;
MAC=latestFrame.srcAddress64;
idx=find(strcmp(handles.motes.MAC,MAC));
if isempty(idx)
    motes.MAC{end+1,1} = MAC;

```

```

        idx=find(strcmp(motes.MAC,MAC));
%     warning('Unexpected mote has sent data')
end
motes.snapshot.values(idx,:) = sensors;
motes.inserted(idx,1) = 1;
motes.RAW.samples = [handles.motes.RAW.samples; idx, sensors];
motes.RAW.timestamp{end+1} = datestr(datetime('now'), 'yyyy-mm-dd HH:MM:ss.FFF');

% if(isempty(find(motes.snapshot.inserted==0, 1)))
%     motes.snapshot.sensors.s1 = [motes.snapshot.sensors.s1; motes.snapshot.values(:,1)'];
%     motes.snapshot.sensors.s2 = [motes.snapshot.sensors.s2; motes.snapshot.values(:,2)'];
%     motes.snapshot.sensors.s3 = [motes.snapshot.sensors.s3; motes.snapshot.values(:,3)'];
%     motes.snapshot.timestamp{end+1,1} = datestr(datetime('now'), 'yyyy-mm-dd
HH:MM:ss.FFF');
%     motes.snapshot.values = zeros(motes.number_of_motes, motes.number_of_sensors); %
Matrix of values
%     motes.snapshot.inserted = zeros(motes.number_of_motes,1); % Matrix of inserted values
% end

handles.motes = motes;

% ttime=datetime(motes.snapshot.timestamp(:,1),'yyyy-MM-dd HH:mm:ss.FFF');
% str = datestr(ttime, 'FFF')

```

[Published with MATLAB® R2016a](#)

3.7.5. extractFrameData

Este fichero es el nucleo de todo el sistema, es el que traduce la información de los frames en estructuras de datos más fácilmente gestionables.

```

function output = extractFrameData(frameData, frameLength)
% EXTRACTFRAMEDATA Extract the data (Address, FrameType, ID, Digital/Analog IO samples)
% from the frame.

output = [];

if length(frameData) < 12
    warning('Number of bytes is not enough to extract info');
    char(frameData)
    output.error=1;
else
    output.error=0;

```

```

frameType=frameData(1);
output.frameType=frameType;
% Based on the frame type, process the frame differently.
switch (frameType)
    % 0x97 is a frame type of [AT Remote Command Response]
    case hex2dec('97')

        frameID = frameData(2);
        if frameID ~= hex2dec('77')
            error('This command is not from MATLAB');
        end

        % Extract 64-bit source address of the packet
        temp = dec2hex(frameData(3:10),2);
        output.srcAddress64 = reshape(temp', 1, numel(temp));

        % Extract 16-bit source address of the packet
        try
            temp = dec2hex(frameData(11:12),2);
            output.srcAddress16 = reshape(temp', 1, numel(temp));
        catch
            disp('Frame error')
        end
        % Extract Remote AT Command
        output.ATCommand = char(frameData(13:14))';

        warning off backtrace
        % Extract Remote AT Command Status
        switch (frameData(15))
            case 0
                %CommandStatus: Sent successfully
                output.state = 0;
                display(['Successfully sent command for: ', output.srcAddress64])
            case 1
                warning('Command ERROR! Check your command for Address: %s',
output.srcAddress64)
                output.state = 1;
            case 2
                warning('Invalid Command')
                output.state = 2;
            case 3
                warning('Invalid Parameter')
                output.state = 3;
            case 4
                warning('Transmission Failure for %s', output.srcAddress64)
                output.state = 4;
            otherwise
                warning('CommandStatus: Error but continuing.')
        end
        if((output.state == 0) && strcmp(output.ATCommand, 'ND'))
            % descifrar aqui el paquete definido en pag 172 los dos primeros
            output.Response = frameData(16:end);
            output.discovery.srcAddress16 = dec2hex(frameData(16:17));

```

```

temp = dec2hex(frameData(18:25),2);
output.discovery.srcAddress64 = reshape(temp', 1, numel(temp));

temp = frameData(26:end);
indexes = find(temp==0);
newidx = 26+indexes(1);
temp = frameData(26:newidx-2);
output.discovery.NI = temp;

temp = dec2hex(frameData(newidx:newidx+1),2);
output.discovery.ParentNetwork = reshape(temp', 1, numel(temp));

output.discovery.DeviceType=frameData(newidx+2);
% bytes corresponden al identificador de 16 bit en la red
end
warning on backtrace
% if the frameData is more than 15 bytes, which is the minimum
% bytes of Remote AT Response frame, it includes ADIO data.
if (length(frameData) > 15)
    % Extract Analog and Digital input output (ADIO) values from the
    % byte data and return the output.
    if strcmp(char(frameData(13:14)'), 'IS') %Check if remote AT is IS
        output.sampleATResponse = extractCmdData(frameData(16:end));
        output.MI=dec2hex(frameData(20:end));
    elseif strcmp(char(frameData(13:14)'), '%V')
        rawvalue = frameData(16)*256+frameData(17);
        output.sampleATResponse.supplyRawValue = rawvalue;
        output.sampleATResponse.supplyVoltage = rawvalue*1.2/1024;
    else
        output.sampleATResponse = [];
    end

    % Return the raw data frame for debugging
    output.sampleATResponseRaw = frameData(16:end)';
else
    output.sampleATResponse = [];
    output.sampleATResponseRaw = [];

end
% List of different frame types
case hex2dec('88')
    disp('This is an AT Command Response')
    output.frameID=dec2hex(frameData(2));
    output.ATcommand=dec2hex(frameData(3:4));
    output.commandStatus=dec2hex(frameData(5));
    output.response = dec2hex(frameData(5:frameLength));
case hex2dec('8A')
    disp('This is a Modem Status');
case hex2dec('8B')
    disp('This is a ZigBee Transmit Status');
case hex2dec('90')
    % disp('This is a ZigBee Receive Packet');

```

```

        output.SourceAddress=dec2hex(frameData(2:9));
        output.srcAddress64 = reshape(output.SourceAddress', 1,
numel(output.SourceAddress));
        output.SourceNetwork=dec2hex(frameData(10:11));
        output.RecOpt=dec2hex(frameData(12));
        %a = strread(char(frameData(14:frameLength+1)), '%s', 'delimiter', '#');
        char(frameData(13:frameLength))'
        a = textscan(char(frameData(13:frameLength)), '%s', 'delimiter', '#');
        for j=2:length(a{1})
            temp=textscan(a{1}{j}, '%s', 'delimiter', '='); %
            output.EM.(temp{1}{1})=temp{1}{2};
        end
        output.ID = a{1,1}{1};
    case hex2dec('91')
        disp('This is a ZigBee Explicit Rx Indicator (AO=1)');
    case hex2dec('92')
        %disp('ZigBee IO Data Sample Rx Indicator');
        output.SourceAddress=dec2hex(frameData(2:9));
        output.srcAddress64 = reshape(output.SourceAddress', 1,
numel(output.SourceAddress));
        output.SourceNetwork=dec2hex(frameData(10:11));
        output.RecOpt=dec2hex(frameData(12));
        output.NumofSamples = dec2hex(frameData(13));
        output.DCM=dec2hex(frameData(14:15));
        output.ACM=dec2hex(frameData(16));
        output.MI=dec2hex(frameData(17:frameLength));
    case hex2dec('94')
        disp('This is an XBee Sensor Read Indicator (AO=0)');
    case hex2dec('95')
        disp('This is a Node Identification Indicator (AO=0)');
    case hex2dec('A1')
        disp('This is a Route Record Indicator');
    otherwise
        disp('This is an unidentifiable framedata');
        return;
    end
end
end

function output = extractCmdData(rawCmdData)

```

```

% EXTRACTCMDDATA is used to extract the data payload in the frame
% returned from the XBee module.

```

```

    if length(rawCmdData) < 6
        output = 0;
        warning('xbee:extractFrameData:extractCmdData:RawLength', 'No output pins
available');
        return;
    end

    % Return number of sample set
    output.numSampleSet = rawCmdData(1);

    % Return digital input pin numbers

```

```

digitalPinBinMSB = flip1r(dec2bin(rawCmdData(2),8));
digitalInputPinMSB = find(digitalPinBinMSB=='1') + 7;
digitalPinBinLSB = flip1r(dec2bin(rawCmdData(3),8));
digitalInputPinLSB = find(digitalPinBinLSB=='1')-1;
digitalInputPins = [digitalInputPinMSB digitalInputPinLSB];

% Return analog input pin numbers
analogPin = flip1r(dec2bin(rawCmdData(4),8));

analogInputPins = 21-find(analogPin=='1');

numDigitalInput = ~isempty(digitalInputPins);
numAnalogInput = length(analogInputPins);
estTotBytes = 1 + 2 + 1 + numDigitalInput*2 + numAnalogInput*2;
actualBytes = length(rawCmdData);

if estTotBytes ~= actualBytes
    warning('xbee:extractFrameData:extractCmdData:BytesMismatch', 'Data returned is
not of expected length, discarding. ');
    output = 0;
end

% If digital input pin bytes are NOT empty, read digital input values
digitalInputPinValues = [];
analogInputPinValues = [];
if ~isempty(digitalInputPins)
    % DIGITAL Input found
    digitalPinValueBinMSB = flip1r(dec2bin(rawCmdData(5),8));
    digitalInputPinValueMSB = digitalPinValueBinMSB(digitalInputPinMSB-7);
    digitalPinValueBinLSB = flip1r(dec2bin(rawCmdData(6),8));
    digitalInputPinValueLSB = digitalPinValueBinLSB(digitalInputPinLSB+1);
    digitalInputPinValues = [digitalInputPinValueMSB digitalInputPinValueLSB];

    % If analog input pin bytes are NOT empty, read analog input
    % values as well
    if ~isempty(analogInputPins)
        % ANALOG Input found
        for i = 1:numAnalogInput
            AnalogPinValueBinMSB = rawCmdData( (i-1)*2+ 7);
            AnalogPinValueBinLSB = rawCmdData( (i-1)*2+ 8);
            analogInputPinValues = [analogInputPinValues AnalogPinValueBinMSB*256 +
AnalogPinValueBinLSB]; %#ok<AGROW>
        end
    else
        % Only digital
        analogInputPins = [];
    end
else
    % There are no digital inputs
    digitalInputPins = [];

    % If analog input pin bytes are NOT empty, read analog input
    % values
    if ~isempty(analogInputPins)

```

```

        % Only analog
        for i = 1:numAnalogInput
            AnalogPinValueBinMSB = rawCmdData( (i-1)*2+ 5);
            AnalogPinValueBinLSB = rawCmdData( (i-1)*2+ 6);
            analogInputPinValues = [analogInputPinValues AnalogPinValueBinMSB*256 +
AnalogPinValueBinLSB]; %#ok<AGROW>
        end
    else
        warning('xbee:extractFrameData:extractCmdData:AnalogEmpty', 'There are no
bytes at the specified analog input pins.');
```

```

        end
    end

    % Convert ModulePinNames to actual DigitalPin number
    tempVariable = digitalInputPins;
    if ~isempty(tempVariable)
        digitalInputPins = [];
        for i = 1:length(tempVariable)
            AnalogPinCmd = {'D3', 'D2', 'D1', 'D0'};
            DigitalPinCmd = {'P2', 'P0', 'P1', 'D4', 'D7', 'D5', 'D6',...
'D3', 'D2', 'D1', 'D0'};
            ConfigurableDigitalPins = [4 6 7 11 12 15 16 17 18 19 20];
            ConfigurableAnalogPins = [17 18 19 20];
            ModulePinNames = [12 10 11 4 7 5 6 3 2 1 0];
            idx = find(ModulePinNames == tempVariable(i));
            digitalInputPins = [digitalInputPins ConfigurableDigitalPins(idx)];
        end
    end
    %#ok<AGROW,FNDSB>

    % Return outputs in a structure.
    output.digitalInputPins = digitalInputPins;
    output.digitalInputPinValues = double(digitalInputPinValues)-48; % formatting to
double number
    output.analogInputPins = analogInputPins;
    output.analogInputPinValues = analogInputPinValues;
    output.analogInputPinVoltage_V = (analogInputPinValues * 1200 / 1023)/1000;

end
end

```

[Published with MATLAB® R2016a](#)

3.7.6. RemoteATFrameGenerator

Este script genera frames para ejecutar comandos AT en los nodos remotos. Este script es imprescindible para configurar los nodos desde la interfaz de usuario.

```
function frame = remoteATframegenerator(destadd,command,state)
%FRAMEGENERATOR Summary of this function goes here
% Detailed explanation goes here
% destadd = '000000000000FFFF';
if(strcmp(state,'ON'))
    value='05';
elseif(strcmp(state,'OFF'))
    value = '04';
else
    value = state;
end
decDestAdd = hex16ToDec8(destadd);
if(strcmp(value, ''))
    frame = [ ...
        hex2dec('7E'), ... % Start byte
        hex2dec('00'), hex2dec('00'), ... % Length: fill in later
        hex2dec('17'), ... % Frame type 0x17 is Remote AT command request
        hex2dec('77'), ... % Frame ID % This can be an identifier. % 77 for MATLAB script %
0 for no AT response
        decDestAdd, ... % 64bit Destination Address
        hex2dec('FF'), hex2dec('FE'), ... % Destination Network Address
        hex2dec('02'), ... % Apply changes immediately
        uint8(command), ... % Pin Command
    ];
else
    frame = [ ...
        hex2dec('7E'), ... % Start byte
        hex2dec('00'), hex2dec('00'), ... % Length: fill in later
        hex2dec('17'), ... % Frame type 0x17 is Remote AT command request
        hex2dec('77'), ... % Frame ID % This can be an identifier. % 77 for MATLAB
script % 0 for no AT response
        decDestAdd, ... % 64bit Destination Address
        hex2dec('FF'), hex2dec('FE'), ... % Destination Network Address
        hex2dec('02'), ... % Apply changes immediately
        uint8(command), ... % Pin Command
        reshape(hex2dec(reshape(value, [length(value)/2,2])),[1,2]) ... % value: 04
for LOW, 05 for HIGH
    ];

end
frameLength = length(frame (4:end));
LH = floor(frameLength/ 256);
LL = mod(frameLength, 256);
frame(2) = LH;
frame(3) = LL;
checksum = hex2dec('FF') - mod(sum(frame(4:end)), 256);
frame = [frame checksum];
end
```



```

function output = hex16ToDec8(hex16Value)
% HEX16TODEC8 Convert 16 char hexadecimal numbers to 8 digit decimal numbers.
%
%   hex16ToDec8('0013A200409BAE30') returns [ 0 19 162 0 64 155 174 48].

str = upper(hex16Value);
temp = zeros(1,8);
if (length(str) ~= 16)
    error('hex16ToDec8:LengthMismatch', 'Check the size of string format. destination address should be 64bit HW address (e.g., ''0013A200408BAE30'')');
else
    for i = 1:length(str)/2
        x = [str( (i-1)*2 + 1) str( (i-1)*2 + 2)];
        temp(i) = hex2dec(x);
    end
end
output = temp;
end

```

[Published with MATLAB® R2016a](#)

3.7.7. Spatial Time Representation

Este script es el encargado de representar los datos en una matriz teniendo en cuenta la distribución espacial de los nodos.

```

Malla(1,1)=find(strcmp(motes.MAC, '0013A200417688A4')); pos_mbr(1,1)=2;
Malla(1,2)=find(strcmp(motes.MAC, '0013A200417687E0')); pos_mbr(1,2)=7;
Malla(1,3)=find(strcmp(motes.MAC, '0013A200414F381B')); pos_mbr(1,3)=10000;% estropeado
Malla(1,4)=find(strcmp(motes.MAC, '0013A200410A3F0C')); pos_mbr(1,4)=11;
Malla(2,1)=find(strcmp(motes.MAC, '0013A200410A3F0B')); pos_mbr(2,1)=12;
Malla(2,2)=find(strcmp(motes.MAC, '0013A200415134E3')); pos_mbr(2,2)=10;
Malla(2,3)=find(strcmp(motes.MAC, '0013A20040D7E819')); pos_mbr(2,3)=9;
Malla(2,4)=find(strcmp(motes.MAC, '0013A200415134B7')); pos_mbr(2,4)=8;
Malla(3,1)=find(strcmp(motes.MAC, '0013A200414F385E')); pos_mbr(3,1)=6;
Malla(3,2)=find(strcmp(motes.MAC, '0013A200415134E6')); pos_mbr(3,2)=3;
Malla(3,3)=find(strcmp(motes.MAC, '0013A20040D7EA76')); pos_mbr(3,3)=15;
Malla(3,4)=find(strcmp(motes.MAC, '0013A20041067720')); pos_mbr(3,4)=1;
Malla(4,1)=find(strcmp(motes.MAC, '0013A200415134E5')); pos_mbr(4,1)=13;
Malla(4,2)=find(strcmp(motes.MAC, '0013A200415134E8')); pos_mbr(4,2)=5;
Malla(4,3)=find(strcmp(motes.MAC, '0013A200415134C0')); pos_mbr(4,3)=4;
Malla(4,4)=find(strcmp(motes.MAC, '0013A2004151350D')); pos_mbr(4,4)=14;

Mapa=800*ones(4);
cont=0;
numero_imagenes=1;
ini=4100;%13300;%4150 %25500

```

```

figure(1)
for i=ini:ini+2500;%2500,450

    [f,c]=find(Malla==motes.RAW.samples(i,1));
    if pos_mbr(f,c)<20;
        Mapa(f,c)=ADC2SFH(motes.RAW.samples(i,2));
        Mapa(f,c)=mbr_arr(pos_mbr(f,c),2).*Mapa(f,c)+mbr_arr(pos_mbr(f,c),3);
    end
    cont=cont+1;
    if cont==15
        i
        Mapa(1,1)=Mapa(1,1)-30;
        Mapa(1,2)=Mapa(1,2)+30;
        Mapa(1,4)=Mapa(1,4)+50;
        % Mapa(2,1)=Mapa(2,1)+50;
        Mapa(3,4)=Mapa(3,4)+50;
        Mapa(4,4)=Mapa(4,4)+50;
        Mapa(4,1)=Mapa(4,1)+20;
        Mapa(1,3)=(Mapa(1,2)+Mapa(1,4))/2;
        Mapa(2,2)=(Mapa(2,1)+Mapa(2,3))/2;
        figure(1)
        subplot(8,15,numero_imagenes);imagesc(Mapa);title([num2str((numero_imagenes-1)*0.5) '
s'], 'FontSize',10)
        set(gca, 'xtick', [], 'ytick', []);
        colormap(gray);
        caxis([200 1500]);
        drawnow;
        cont=0;
        numero_imagenes=numero_imagenes+1;
        pause(0.09);
        figure(2)
        imagesc(Mapa)
    end

end

```

[Published with MATLAB® R2016a](#)

3.7.8. ReprTemp

Este script es el encargado de representar la serie temporal de los datos, con posibilidad de escoger fragmentos concretos de la misma.

```
load mbr_macs
```

```

% seleccion_idx=1:52000;

% seleccion_idx = 12700:19000; %momento 1200 w/m2
% seleccion_idx = 13250:13750; %pico 1200 w/m2

seleccion_idx = 10000:30000; %momento 1800 w/m2
%seleccion_idx = 25500:26000;

time_arr = datenum(motes.RAW.timestamp(seleccion_idx)) -
min(datenum(motes.RAW.timestamp(seleccion_idx)));
time_arr = time_arr*24*3600;
samples = motes.RAW.samples(seleccion_idx,:);
unicos = unique(motes.RAW.samples(:, 1));

orden = [2:7,1,8:10,16,11:15];
unicos = unicos(orden);
false_i = 0;
for i = 1:length(unicos)
    idx=find(strcmp(motes.MAC{unicos(i)},MAC_arr));
    MAC = motes.MAC{unicos(i)};
    try
        mb = mbr_arr(mbr_arr(:,1)==idx, 2:3);
        if i==14
            mb(2)=mb(2)+50;
        elseif i==12 || i==4 || i==6 || i==7 || i==8 || i==15
            mb(2)=mb(2)+30;
        end
        subplot(122);plot(time_arr(samples(:,1)==unicos(i)),
mb(1).*ADC2SFH(samples(samples(:,1)==unicos(i), 2))+mb(2), 'DisplayName', ['#'
num2str(locator(MAC))]); hold on;
        x =time_arr(samples(:,1)==unicos(i));
        y = mb(1).*ADC2SFH(samples(samples(:,1)==unicos(i), 2))+mb(2);
    catch
        %idx=find(strcmp(motes.MAC{unicos(i-1)},MAC_arr));
        %mb = mbr_arr(mbr_arr(:,1)==idx, 2:3); % esta linea y la anterior cogen los datos y
aplican otro mbr para que se note una linea distinta
        false_i = false_i + 1;
        pseudo = [3, 6];
        plot(x, y, 'DisplayName', ['#' num2str(pseudo(false_i))])
        unicos(i) % muestra los que fallan
        MAC
    end
end
legend('off')
legend('show')
reorderLegend([15, 9, 10, 13, 1, 6, 12, 2, 16, 4, 8, 11, 5, 7, 14, 3])

```

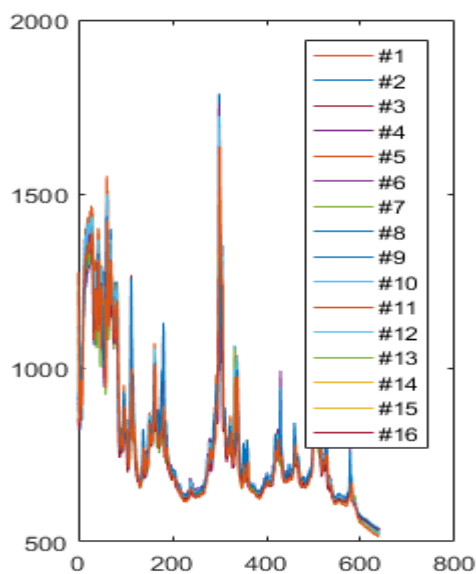


Figura 63. Representación temporal de los datos mediante ReprTemp

[Published with MATLAB® R2016a](#)

3.7.9. Calibracion

El siguiente script es el encargado de correlacionar los datos del piranómetro con los datos de los sensores de luz, para de esta forma obtener una correlación mediante una recta de regresión.

```
close all
%clear
clc
addpath(' ../helpers')

unicos = unique(motes.RAW.samples(:,1));

leyenda_ambiental = {};
leyenda_piranometro = {};
motesdata=[];
%
for i=1:length(unicos)
    idx=find(motes.RAW.samples(:,1)==unicos(i));
    if(strcmp(motes.NI(unicos(i)), 'PIRANOMETRO'))
        ttime = motes.RAW.timestamp(idx);
```

```

        DateTime = datenum(ttime); %días que han pasado desde el 1 de enero del 2000
        leyenda_piranometro = sprintf('%s',motes.MAC{unicos(i)});
        piranometro=[DateTime motes.RAW.samples(idx,2)];
%
    else %if(strcmp(motes.NI(i),'AMBIENTAL'))
        ttime = motes.RAW.timestamp(idx);
        DateTime = datenum(ttime); %días que han pasado desde el 1 de enero del 2000
        leyenda_ambiental{end+1}= sprintf('%s',motes.MAC{unicos(i)});
        motesdata=[motesdata; unicos(i)*ones(length(DateTime),1) DateTime
motes.RAW.samples(idx,2)];
%        histogram(diferencias, (min(diferencias)*0.8:0.005:mean(diferencias)*2.5),
'FaceColor' , [str2num(binary(1)) str2num(binary(2)) str2num(binary(3))]);
%        alpha = 0.01;          % significance level
%        mu = mean(diferencias);          % mean
%        sigma = std(diferencias);          % std
%        cutoff1 = norminv(alpha, mu, sigma);
%        cutoff2 = norminv(1-alpha, mu, sigma);
    end
end

%load('correlate04-05.cloudy.mat');
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%ENTRADA DE DATOS%%
periodo = 1.5; %en segundos (Se usa en timepostreg)

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Corrección de tiempos según origen
ref_time = min(motesdata(:, 2));
motesdata(:, 2)=(motesdata(:, 2)-ref_time)*24*3600;
piranometro(:, 1)=(piranometro(:, 1)-ref_time)*24*3600;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

unicos = unique(motesdata(:, 1));
datospir = piranometro(:,2);
tiempopir = piranometro(:,1);

correcciones = [];
errores = [];
leyenda_ambiental = {};

for i=1:length(unicos)
    idx1 = find(motesdata(:, 1)==unicos(i));
    datos_motes = motesdata(idx1, 3);
    tiempo_motes = motesdata(idx1, 2);

    elimina_tiempo = find(tiempo_motes > 2.2e4); %busca los indices de la noche
    tiempo_motes(elimina_tiempo)=[]; %elimina la noche
    datos_motes(elimina_tiempo)=[]; %elimina la noche

```

```

    %figure()
    %postreg(datospir, datos_motes);
    %figure()
    %[m,b,r] = postreg(ADC2PIR(datospir), ADC2SFH(datos_motes));
    %[m,b,r] = postreg(ADC2PIR(datospir), ADC2SFH(datos_motes), 'hide');
    [m,b,r, valmote, valpira] = timepostreg(ADC2SFH(datos_motes), tiempo_motes,
ADC2PIR(piranometro(:, 2)), piranometro(:, 1), periodo);
    estimated_irradiance = valmote*m+b;
    error = estimated_irradiance-valpira;
    errores = [errores, error];
    figure()
    subplot(211)
    plot(valpira, estimated_irradiance, '.');
    xlabel('Irradiance W/m^2')
    ylabel('Estimated Irradiance W/m^2')
    subplot(212)
    histfit(error)
    leyenda_ambiental{end+1}= sprintf('%s',motes.MAC{unicos(i)});
    correcciones = [correcciones; unicos(i), m, b, r];
end

for i=1:length(unicos)
    idx1 = find(motesdata(:, 1)==unicos(i));
    datos_motes = motesdata(idx1, 3);
    tiempo_motes = motesdata(idx1, 2);
    elimina_tiempo = find(tiempo_motes > 2.2e4); %busca los indices de la noche
    tiempo_motes(elimina_tiempo)=[]; %elimina la noche
    datos_motes(elimina_tiempo)=[]; %elimina la noche
    mb = correcciones(find(correcciones(:, 1)==unicos(i)), [2,3]);
    estimated_irradiance = ADC2SFH(datos_motes)*mb(1)+mb(2);
    figure(100)
    plot(tiempo_motes, estimated_irradiance);
    xlabel('time (s)')
    ylabel('Irradiance (W/m^2)')
    hold on
    %histogram(ADC2PIR(datospir)-estimated_irradiance)
end

figure()
histfit(errores)
figure()
histfit(delete_outliers(errores, 0.05))

figure(100)
legend(leyenda_ambiental)
plot(tiempopir, ADC2PIR(datospir), '.k')
ylabel('Irradiance (W/m^2)')
xlabel('time (s)')

```

3.7.10. ADC2BAT

Este script contiene una función, llamada ADC2BAT que se encarga de convertir las lecturas del ADC a estimación de batería.

```
function [ bat_level ] = ADC2BAT(read)
%ADC2TEMP Recibe la lectura del ADC del xBEE y devuelve el nivel de bateria
% Recibe como parámetro de entrada, la lectura del ADC y devuelve como
% salida el nivel de batería.

% Configuración de las características
R_ajuste1=82000; %En Ohmios
R_ajuste2=33000; %En Ohmios
% Fin de configuración de las características
V_read=read*1.2/1020;
I_sensor = V_read/R_ajuste2;
V_bat=I_sensor*(R_ajuste1+R_ajuste2);
bat_level = uint8(V_bat*200-740);
end
```

[Published with MATLAB® R2016a](#)

3.7.11.ADC2SFH

Este script contiene una función, llamada ADC2SFH que se encarga de convertir las lecturas del ADC a luxes según el datasheet del fabricante.

```
function [ Ev ] = ADC2SFH(read)
%ADC2TEMP Recibe la lectura del ADC del xBEE y devuelve la lux
% Recibe como parámetro de entrada, la lectura del ADC y devuelve como
% salida luxes del sensor SFH5711.

% Configuración de las características
R_ajuste=22000; %En Ohmios
% Fin de configuración de las características
V_read=read.*1.2/1020;
I_sensor = V_read./R_ajuste;
Ev=10.^(I_sensor./(10.^(-5)));
end
```

[Published with MATLAB® R2016a](#)

3.7.12. ADC2PIR

Este script contiene una función, llamada ADC2PIR que se encarga de convertir las lecturas del ADC a irradiancia en W/m^2 .

```
function [ E ] = ADC2PIR(read)
%ADC2TEMP Recibe la lectura del ADC del xBEE y devuelve el nivel de
%radiación del piranómetro
% Recibe como parámetro de entrada, la lectura del ADC y devuelve como
% salida el nivel de radiación con la ecuación experimental del
% amplificador de señal y las características del piranómetro.

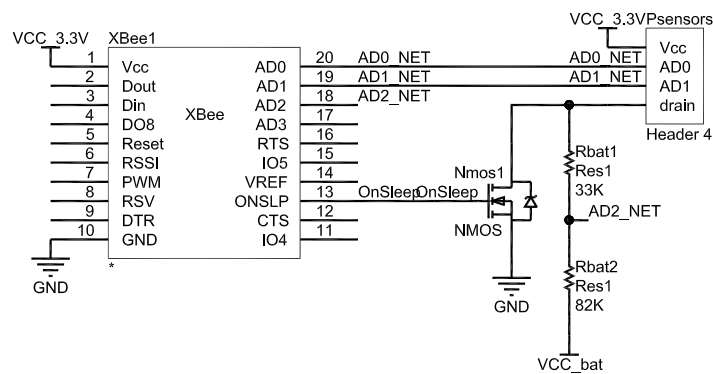
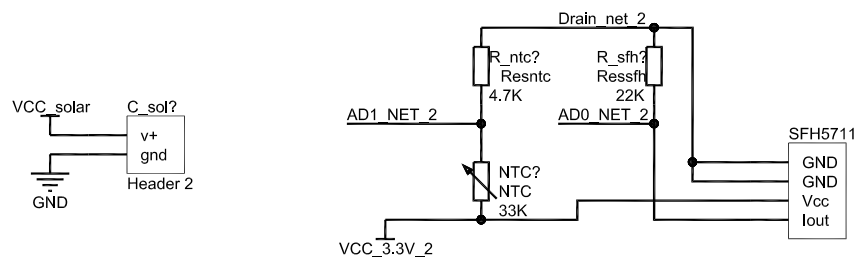
V_read = read*1200/1020; %mV
V_pir = (V_read-8.735)/85.179; %mV
S=7.66; %uV/(W/m^2)
E = V_pir*10^3/S; % Ecuacion de ajuste experimental
end
```

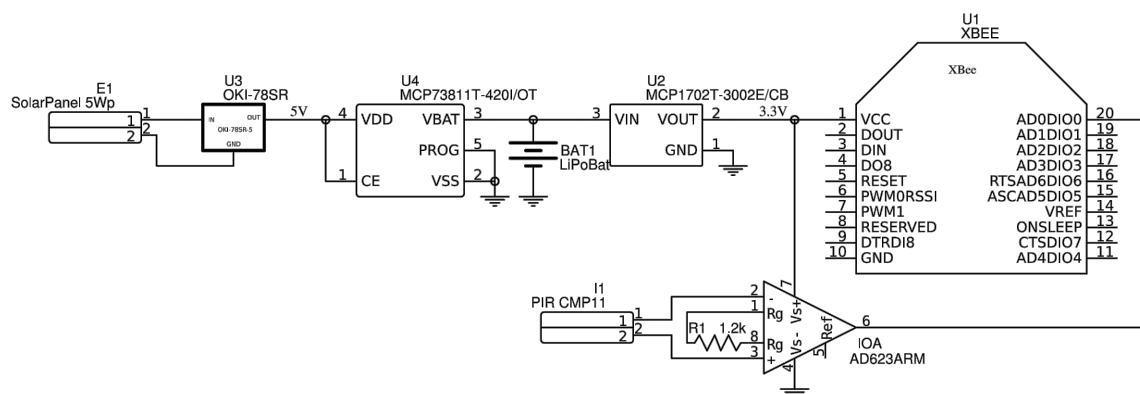
[Published with MATLAB® R2016a](#)

3.7.13. Resto de scripts

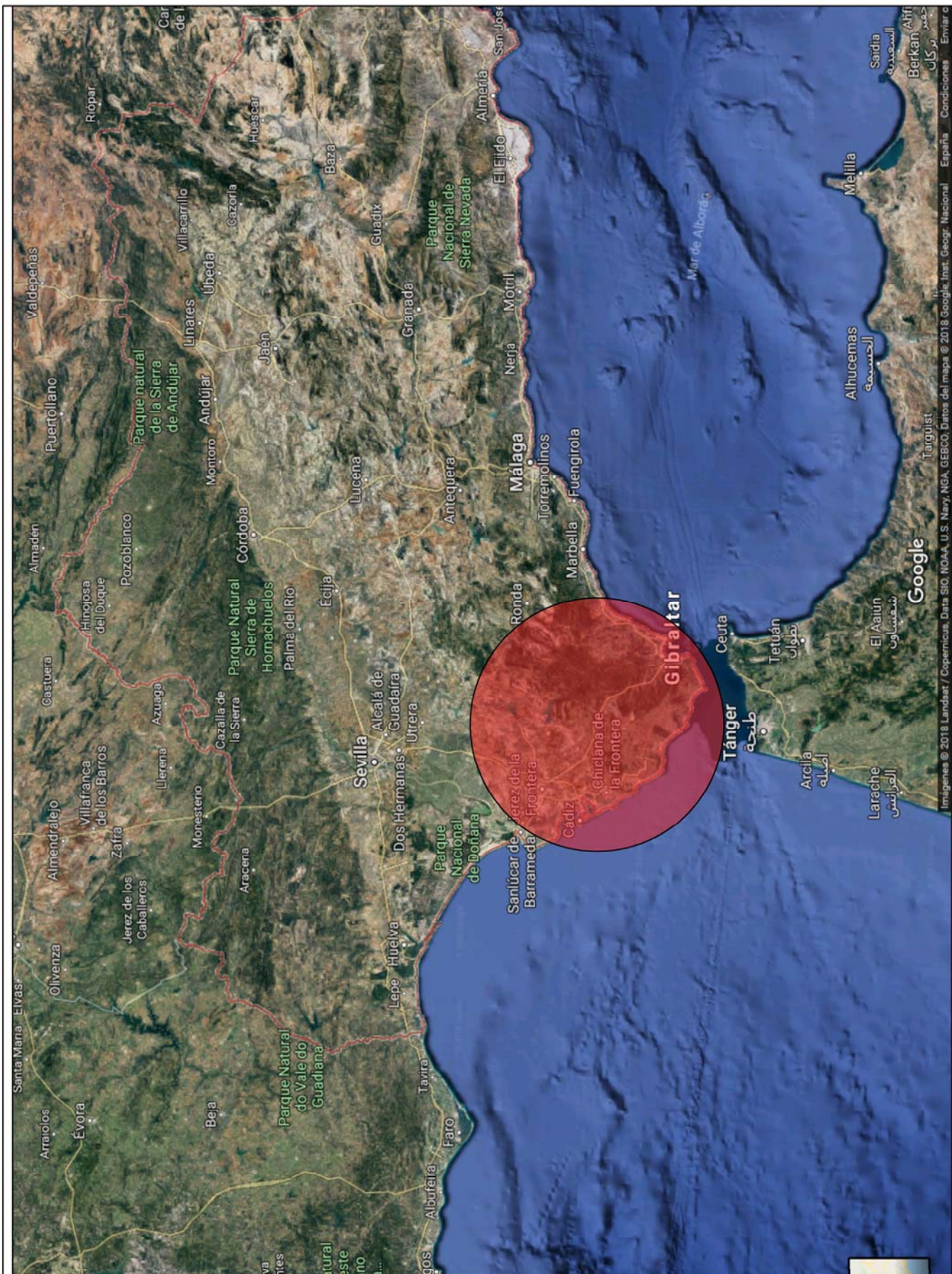
A fin de no extender demasiado el documento de memoria solo se han incluidos los scripts más relevantes. El resto de scripts se pueden encontrar en el CD adjunto a este documento.

4. PLANOS

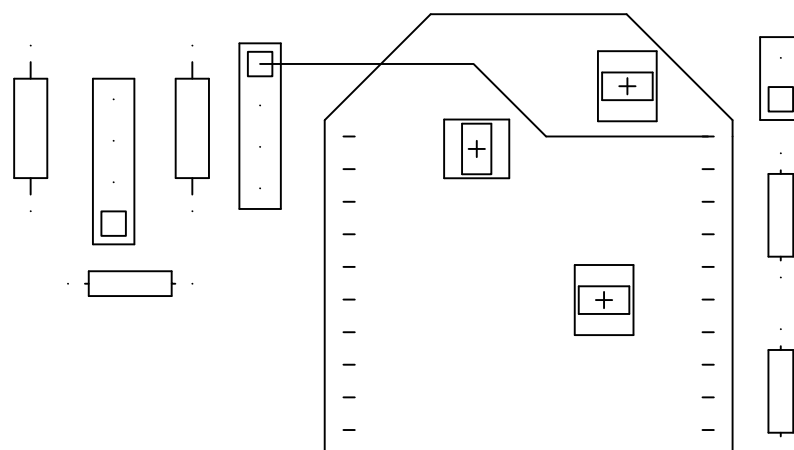
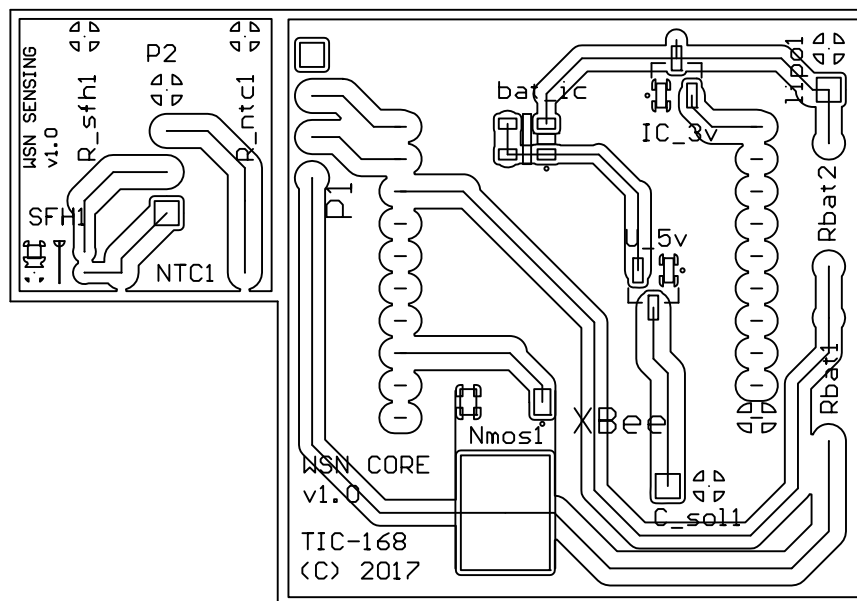





	FECHA	NOMBRE	FIRMA	 <div>ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ALGECIRAS</div> <div>UNIVERSIDAD DE CÁDIZ</div>
DIBUJADO	Fecha	Nombre y Apellidos		
COMPROB.	18/9/2018	Manuel Jesús Espinosa Gavira		
ESCALA	DENOMINACION DEL PROYECTO : GESTIÓN Y DISEÑO DE UNA RED DE SENSORES INÁLAMBRICA PARA LA PREDICCIÓN A CORTO PLAZO DE LA PRODUCCIÓN DE UNA PLANTA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA			
1:1				
Unidades	DENOMINACION DEL PLANO :			PLANO N° : 04
mm	CIRCUITO ACONDICIONAMIENTO DEL PIRANÓMETRO			HOJA N° : 01/01

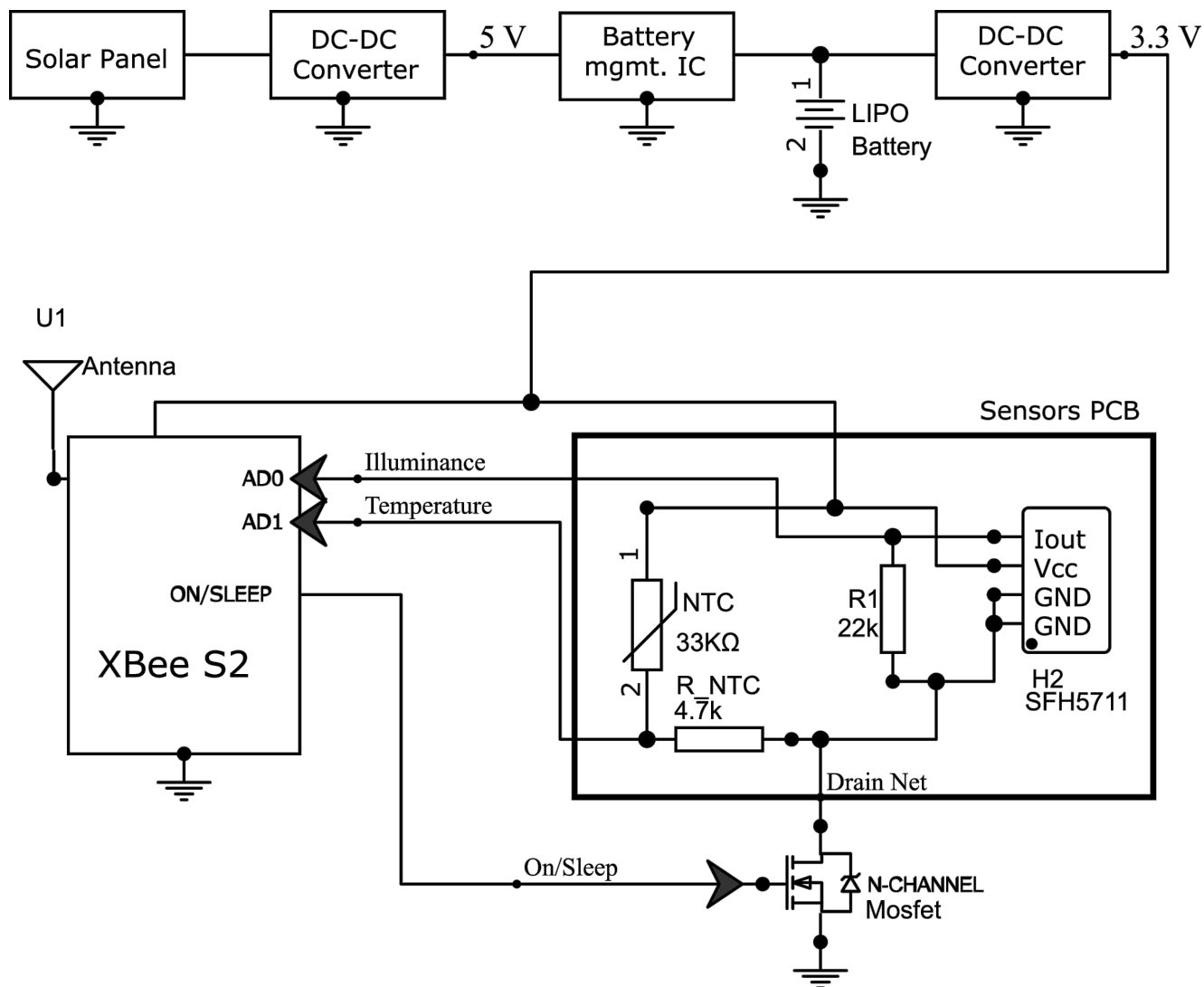



	FECHA	NOMBRE	FIRMA	 ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ALGECIRAS UNIVERSIDAD DE CÁDIZ
DIBUJADO	Fecha	Nombre y Apellidos		
COMPROB.	18/9/2018	Manuel Jesús Espinosa Gavira		
ESCALA	DENOMINACION DEL PROYECTO :			
1:250000	GESTIÓN Y DISEÑO DE UNA RED DE SENSORES INÁLAMBRICA PARA LA PREDICCIÓN A CORTO PLAZO DE LA PRODUCCIÓN DE UNA PLANTA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA			
Unidades	DENOMINACION DEL PLANO :			PLANO N° : 06
mm	PLANO SATELITE SITUACION ANDALUCÍA			HOJA N° : 01/01

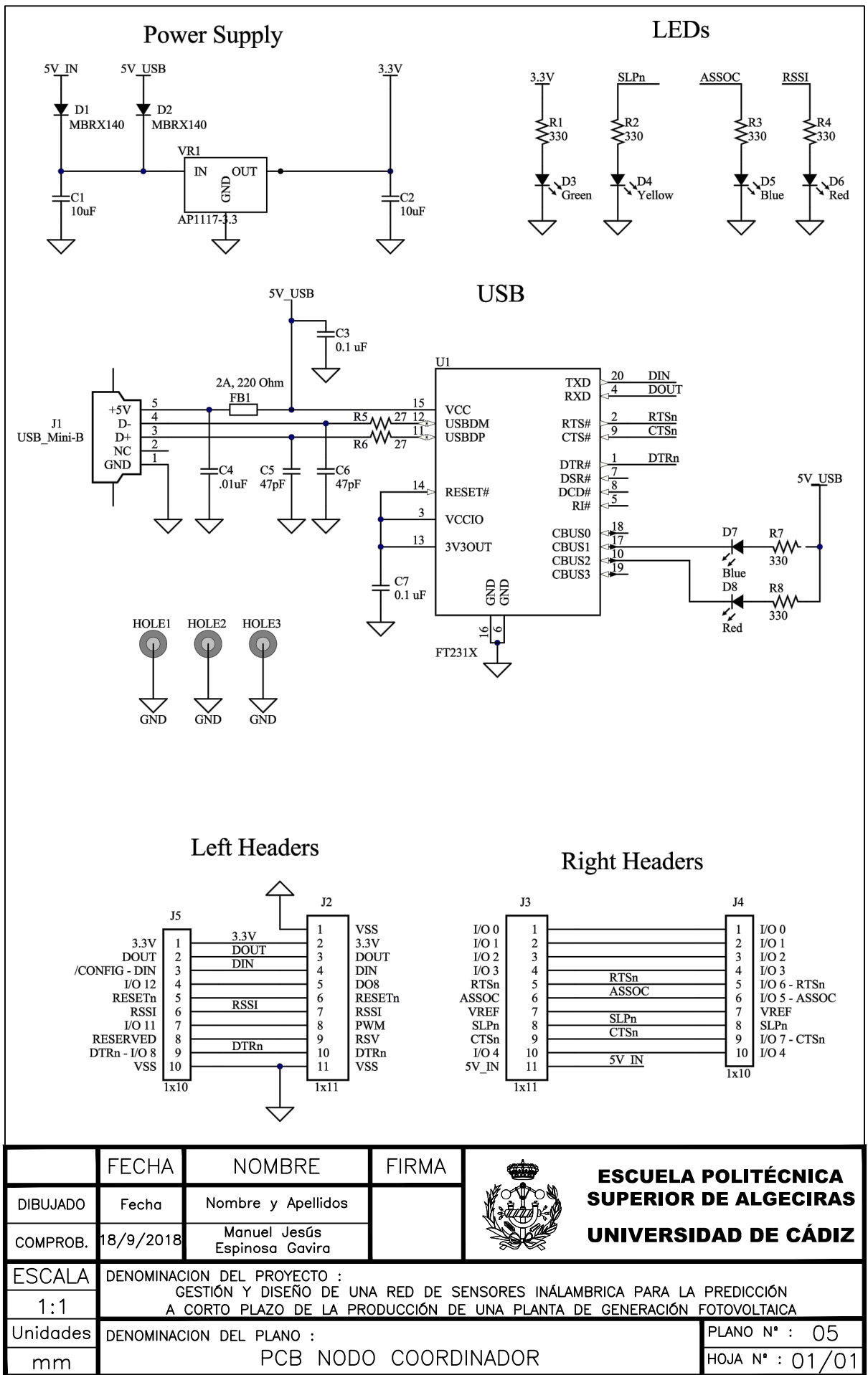


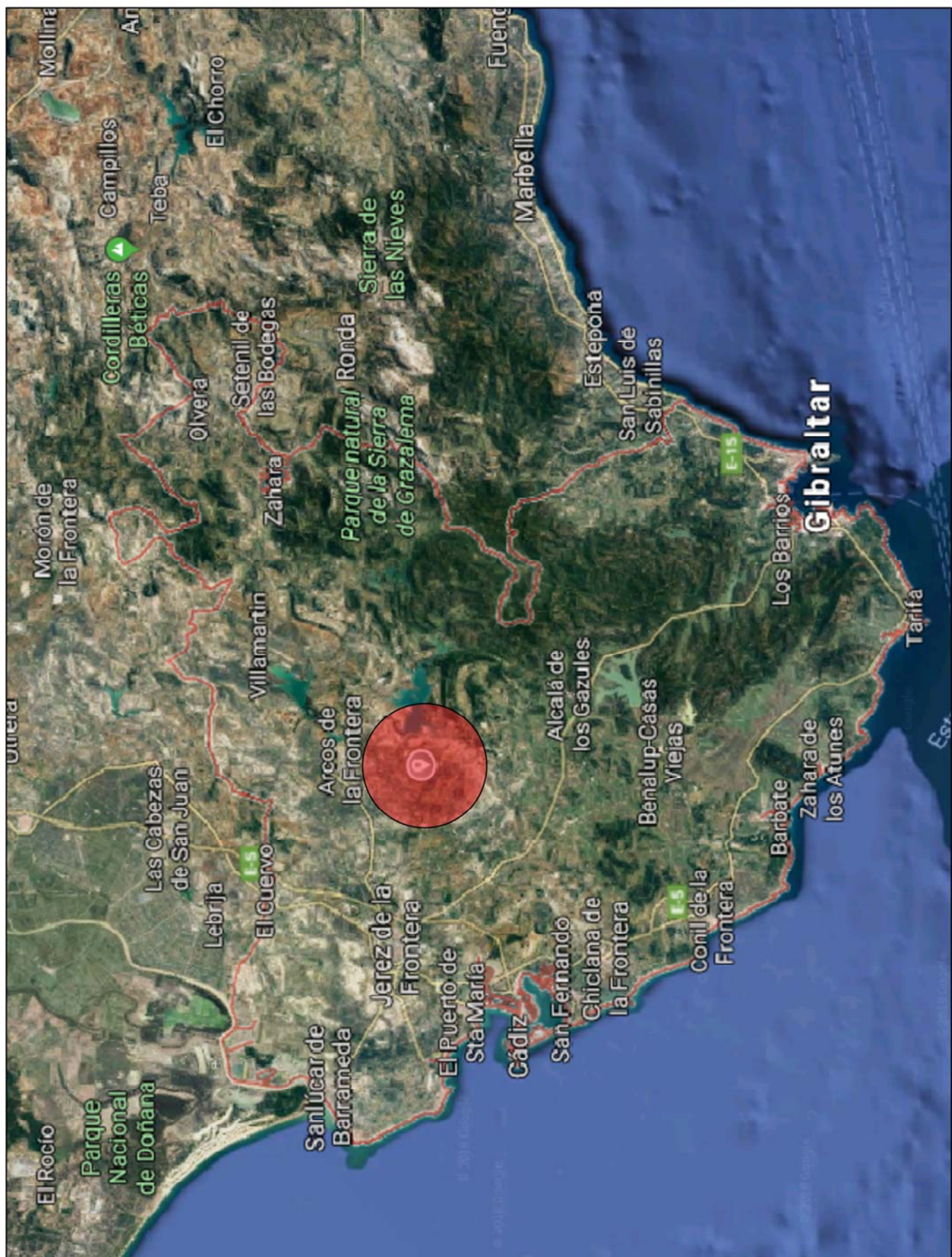
☐ End Device
☐ Router
☐ Sleep cycle (s)

	FECHA	NOMBRE	FIRMA	 ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ALGECIRAS UNIVERSIDAD DE CÁDIZ
DIBUJADO	Fecha	Nombre y Apellidos		
COMPROB.	18/9/2018	Manuel Jesús Espinosa Gavira		
ESCALA	DENOMINACION DEL PROYECTO :			
2:1	GESTIÓN Y DISEÑO DE UNA RED DE SENSORES INÁLMAMBRICA PARA LA PREDICCIÓN A CORTO PLAZO DE LA PRODUCCIÓN DE UNA PLANTA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA			
Unidades	DENOMINACION DEL PLANO :			PLANO N° : 02
mm	PCB ROUTING NODO			HOJA N° : 01/01



	FECHA	NOMBRE	FIRMA	 <div>ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ALGECIRAS UNIVERSIDAD DE CÁDIZ</div>
DIBUJADO	Fecha	Nombre y Apellidos		
COMPROB.	18/9/2018	Manuel Jesús Espinosa Gavira		
ESCALA	DENOMINACION DEL PROYECTO : GESTIÓN Y DISEÑO DE UNA RED DE SENSORES INÁLAMBRICA PARA LA PREDICCIÓN A CORTO PLAZO DE LA PRODUCCIÓN DE UNA PLANTA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA			
Unidades	DENOMINACION DEL PLANO : DIAGRAMA BLOQUES FUNCIONAL NODO			PLANO N° : 03
mm				HOJA N° : 01/01





	FECHA	NOMBRE	FIRMA	 ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ALGECIRAS UNIVERSIDAD DE CÁDIZ
DIBUJADO	Fecha	Nombre y Apellidos		
COMPROB.	18/9/2018	Manuel Jesús Espinosa Gavira		
ESCALA	DENOMINACION DEL PROYECTO :			
1:75000	GESTIÓN Y DISEÑO DE UNA RED DE SENSORES INÁLMÁBRICA PARA LA PREDICCIÓN A CORTO PLAZO DE LA PRODUCCIÓN DE UNA PLANTA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA			
Unidades	DENOMINACION DEL PLANO :			PLANO N° : 07
mm	PLANO SATELITE SITUACION CÁDIZ			HOJA N° : 01/01



	FECHA	NOMBRE	FIRMA	 ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ALGECIRAS UNIVERSIDAD DE CÁDIZ
DIBUJADO	Fecha	Nombre y Apellidos		
COMPROB.	18/9/2018	Manuel Jesús Espinosa Gavira		
ESCALA	DENOMINACION DEL PROYECTO :			
1:15000	GESTIÓN Y DISEÑO DE UNA RED DE SENSORES INÁLMBRICA PARA LA PREDICCIÓN A CORTO PLAZO DE LA PRODUCCIÓN DE UNA PLANTA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA			
Unidades	DENOMINACION DEL PLANO :			PLANO N° : 08
mm	PLANO DE INSTALACIÓN			HOJA N° : 01/01

5. PLIEGO DE CONDICIONES

5.1. Condiciones generales

El objeto de este capítulo es establecer las condiciones técnicas, económicas, administrativas y particulares para que el proyecto pueda materializarse con las condiciones especificadas, evitando en la medida de lo posible interpretaciones diferentes de las deseadas. Se señala como se desarrollará el trabajo, se definirá el alcance, la ejecución cualitativa y como se resolverán los conflictos que puedan surgir.

También se especifican los derechos, obligaciones y responsabilidades de las partes que lo suscriben.

5.2. Conceptos comprendidos

Es competencia exclusiva del contratista y, por lo tanto, queda totalmente incluido en el precio ofertado, el suministro de todos los elementos y materiales, mano de obra, medios auxiliares y, en general, todos aquellos elementos y/o conceptos que sean necesarios para el perfecto acabado y puesta a punto de las instalaciones, según se describen en la memoria, y que son representadas en los planos, quedando relacionadas de forma básica en el presupuesto y cuya calidad y características de montaje se indican en el Pliego de Condiciones.

Los materiales complementarios para el perfecto acabado de la instalación, no relacionados explícitamente, ni en el documento presupuesto, ni en los planos, pero que por su lógica aplicación quedan incluidos, plenamente, en el suministro del contratista, tal como puede ser cableado para la alimentación externa de los nodos o tornillería para la fijación de los mismos.

Es de obligación del contratista llevar a cabo pruebas y ensayos parciales a realizar durante el transcurso de los montajes para verificar el correcto funcionamiento y calibrado en caso de ser necesario.

También se deben realizar pruebas y ensayos finales, durante las correspondientes recepciones, a ser posible, en presencia del cliente y director del proyecto, en busca de la conformidad de ambas partes.

El contratista tiene la función de elaborar las placas PCB necesarias para la materialización del proyecto, bien sea por medios propios o por subcontratación, sin que ningún método suponga un sobrecoste para el cliente. Además, se debe añadir un cable de una sección mínima de 1.5 mm² a la zona de tensión de la red de la PCB.

Los nodos no deben ser accesibles físicamente y de forma fácil, a ninguna persona externa, ya que la alteración de la programación de un nodo puede comprometer la seguridad de toda la red, inyectando datos falsos o permitiendo la recogida de datos por personas o equipos no deseados.

Los nodos deben ser completamente protegidos durante la fabricación e instalación. En particular, contra situaciones adversas, como intemperie, humedad, fuentes de calor, polvo, líquidos, gases y ambientes corrosivos.

Queda entendido que los cuatro documentos de proyecto, es decir, memoria, presupuesto, planos y pliego de condiciones forman todo un conjunto. Si fuese advertida o existiese alguna discrepancia entre estos cuatro documentos, su interpretación será la que determine la dirección del proyecto. Salvo indicación contraria en su oferta, lo que debe quedar explícitamente indicado en contrato, queda entendido que el contratista acepta este criterio y no podrá formular reclamación alguna por motivo de omisiones y/o discrepancias entre cualquiera de los cuatro documentos que integran el proyecto.

Cualquier exclusión, incluida implícita o explícitamente por el contratista en su oferta y que difiera de los conceptos expuestos en los párrafos anteriores, no tendrá ninguna validez, salvo que en el contrato, de una forma particular y explícita, se manifieste la correspondiente exclusión.

Es responsabilidad del contratista el cumplimiento de toda la normativa oficial vigente aplicable al proyecto. Durante la realización de este proyecto se ha puesto el máximo empeño en cumplir toda la normativa oficial vigente al respecto. No obstante, si en el mismo existiesen conceptos que se desviasen o no cumpliesen con las mismas, es obligación del contratista comunicarlo en

su oferta y en la forma que se describirá más adelante. Queda, por tanto, obligado el contratista a efectuar una revisión del proyecto, previo a la presentación de su oferta, debiendo indicar, expresamente, en la misma, cualquier deficiencia a este respecto o, en caso contrario, su conformidad con el proyecto en materia de cumplimiento de toda la normativa oficial vigente aplicable al mismo.

El contratista efectuará a su cargo el plan de seguridad y el seguimiento correspondiente a sus trabajos, debiendo disponer de todos los elementos de seguridad, auxiliares y de control exigidos por la legislación vigente, sobre todo en lo que respecta al uso de herramientas y materiales para realizar soldaduras con estaño y manipulación de líneas eléctricas, siendo obligado el corte del suministro eléctrico siempre que sea posible.

Quedan incluidos también, como parte de los trabajos del contratista, la preparación de toda la documentación técnica necesaria, incluido visado, legalizado de proyectos y certificados necesarios, así como su tramitación ante los diferentes organismos oficiales, al objeto de obtener todos los permisos requeridos de acuerdo a la legislación.

También queda incluidas la realización de todas las pruebas de puesta en marcha de las instalaciones, realizadas según las indicaciones de la dirección del proyecto.

No se procederá a efectuar la recepción provisional si todo lo anterior no estuviese debidamente cumplimentado a satisfacción de la dirección del proyecto.

Por tanto, el contratista queda enterado a través de este pliego de condiciones que es responsabilidad suya la realización de las comprobaciones indicadas, previo a la presentación de la oferta, así como la presentación en tiempo, modo y forma de toda la documentación mencionada y la consecución de los correspondientes permisos. El contratista, en caso de subcontratación, o la empresa responsable de su contratación, no podrán formular reclamación alguna con respecto a este concepto, ya sea por omisión, desconocimiento o cualquier otra causa.

5.3. Interpretación del proyecto

La interpretación del proyecto corresponde en primer lugar al ingeniero autor del mismo o, en su defecto, a la persona que ostente la dirección del proyecto. Se entiende el proyecto en su ámbito total de todos los documentos que lo integran, es decir, memoria, planos, presupuesto y pliego de condiciones, quedando, por tanto, el contratista enterado por este pliego de condiciones técnicas que cualquier interpretación del proyecto para cualquier fin y, entre otros, para una aplicación de contrato, debe atenerse a las dos figuras (Autor o Director) indicadas anteriormente.

Cualquier delegación del autor o director del proyecto, a efectos de una interpretación del mismo, debe realizarse por escrito y así solicitarse por la persona o entidad interesada.

5.4. Modificaciones al proyecto

Sólo podrán ser admitidas modificaciones a lo indicado en los documentos del proyecto por alguna de las causas que se indican a continuación.

Mejoras en la calidad, cantidad o características del montaje de los diferentes componentes de la instalación, siempre y cuando no quede afectado el presupuesto o, en todo caso, sea disminuido, no repercutiendo, en ningún caso, este cambio con compensación de otros materiales.

Cualquier modificación al proyecto, ya sea en concepto de interpretación del proyecto, cumplimiento de normativa o por ajuste de montaje, deberá atenerse a lo indicado en los apartados correspondientes del pliego de condiciones y, en cualquier caso, deberá contar con el consentimiento expreso y por escrito del autor del proyecto y/o de la dirección del proyecto. Toda modificación que no cumpla cualquiera de estos requisitos carecerá de validez.

5.5. Inspecciones

La dirección del proyecto y/o la propiedad podrán solicitar cualquier tipo de certificación técnica de materiales y/o montajes. Asimismo, podrán realizar todas las revisiones o inspecciones que consideren oportunas, tanto en la placa PCB, en soldaduras, o en la instalación de la red. Las mencionadas inspecciones pueden ser totales o parciales, según los criterios que la dirección del proyecto dictamine al respecto para cada caso.

5.6. Calidades

Cualquier elemento, material, soldadura y, en general, cualquier concepto en el que pueda ser definible una calidad, ésta será la indicada en el proyecto, bien determinada por una marca comercial o por una especificación concreta. Si no estuviese definida una calidad, la dirección del proyecto podrá elegir la que corresponda en el mercado a niveles considerados similares a los del resto de los materiales especificados en proyecto. En este caso, el contratista queda obligado, por este pliego de condiciones técnicas, a aceptar el material que le indique la dirección del proyecto y/o el autor del mismo.

Si el contratista propusiese una calidad similar a la especificada en proyecto, corresponde exclusivamente a la dirección del proyecto definir si ésta es o no similar. Por tanto, toda marca o calidad que no sea la específicamente indicada en el documento de memoria, anexos, presupuesto o planos, deberá haber sido aprobada por escrito por la dirección del proyecto previamente a su instalación, pudiendo ser rechazada, por tanto, sin perjuicio de ningún tipo para la propiedad, si no fuese cumplido este requisito.

Todos los materiales y componentes deberán ser productos normalizados de catálogo de fabricantes dedicados con regularidad a la fabricación de tales materiales o equipos y deberán ser de primera calidad.

Durante la ejecución, el contratista queda obligado a presentar a la dirección del proyecto cuantos materiales o componentes de los mismos le sean solicitados.

5.7.Reglamentación de obligado cumplimiento

Con total independencia de las prescripciones indicadas en los documentos del proyecto, es prioritario para el contratista el cumplimiento de cualquier reglamentación que afecte, directa o indirectamente, a la materialización del proyecto en cualquiera de sus fases. El concepto de cumplimiento de normativa se refiere no sólo al cumplimiento de toda normativa del propio equipo o instalación, sino también al cumplimiento de cualquier normativa exigible durante el montaje, funcionamiento y/o rendimiento del equipo y/o sistema.

Es, por tanto, competencia, obligación y responsabilidad del contratista la previa revisión del proyecto antes de la presentación de su oferta y, una vez adjudicado el contrato, antes de que realice ningún pedido, ni que ejecute ningún montaje. Esta segunda revisión del proyecto, a efectos de cumplimiento de normativa, se requiere tanto por si hubiera habido una modificación en la normativa aplicable después de la presentación de la oferta, como si, con motivo de alguna modificación relevante sobre el proyecto original, ésta pudiera contravenir cualquier normativa aplicable. Si esto ocurriera, queda obligado el contratista a exponerlo ante la dirección técnica y la propiedad. Esta comunicación deberá ser realizada por escrito y entregada en mano a la dirección técnica del proyecto.

Una vez iniciados los trabajos o pedidos los materiales relativos a la instalación contratada, cualquier modificación que fuera necesaria realizar para cumplimiento de normativa, ya sea por olvido, negligencia o por modificación de la misma, será realizada con cargo total al contratista y sin ningún coste para la propiedad, reservándose ésta los derechos por reclamación de daños y perjuicios en la forma que se considere afectada.

Por tanto, el contratista queda enterado por este pliego de condiciones que no podrá justificar incumplimiento de normativa por identificación de proyecto, ya sea antes o después de la adjudicación de su contrato o por instrucciones directas de la dirección del proyecto y/o propiedad.

5.8.Documentación gráfica

A partir de los planos del proyecto es competencia exclusiva del contratista preparar todos los planos de ejecución necesarios, incluyendo tanto los planos de montaje necesarios, mostrando en detalle las características de construcción precisas para el correcto montaje e instalación de los equipos. Estos planos deben reflejar todas las instalaciones en detalle al completo, así como la situación exacta de los módulos, anclajes, huecos, soportes, etc. El contratista queda obligado a suministrar todos los planos de detalle, montaje y planos de obra en general, que le exija la dirección del proyecto, quedando este trabajo plenamente incluido en su oferta. Estos planos deben realizarse paralelamente a la ejecución del proyecto y previo al montaje de las respectivas instalaciones, todo ello dentro de los plazos de tiempo exigidos. Según se ha indicado en apartados anteriores, asimismo, es competencia del contratista, la presentación de los escritos, certificados, visados y planos visados por el colegio profesional correspondiente, para la legalización de su instalación ante los diferentes entes u organismos. Estos planos deberán coincidir sensiblemente con lo instalado. Asimismo, al final de la ejecución, el contratista queda obligado a entregar los planos de instalación y los diferentes esquemas de conexionado necesarios para que haya una determinación precisa de cómo es la instalación, tanto en sus elementos vistos, como en sus elementos ocultos. La entrega de esta documentación se considera imprescindible previo a la realización de cualquier recepción provisional. Cualquier documentación gráfica generada por el contratista sólo tendrá validez si queda formalmente aceptada y/o visada por la dirección del proyecto, entendiéndose que esta aprobación es general y no releva de ningún modo al contratista de la responsabilidad de errores y de la correspondiente necesidad de comprobación y adaptación de los planos por su parte, así como de la reparación de cualquier montaje incorrecto por este motivo.

5.9.Documentación final del proyecto

Previo a la recepción provisional de las instalaciones, cada contratista queda obligado a presentar toda la documentación de proyecto, ya sea de tipo legal y/o contractual, según los documentos de proyecto y conforme a lo indicado en este pliego de condiciones.

5.10. Garantías

Tanto los componentes de la instalación, como su montaje y funcionabilidad, quedarán garantizados por el tiempo indicado por la legislación vigente, a partir de la recepción provisional y, en ningún caso, esta garantía cesará hasta que sea realizada la recepción definitiva. Se dejará a criterio de la dirección de proyecto determinar ante un defecto de equipo su posibilidad de reparación o el cambio total de la unidad.

Este concepto aplica a todos los componentes y materiales de la instalación, sean éstos los especificados, de modo concreto, en los documentos de proyecto o los similares aceptados.

5.11. Seguridad y prevención

Durante la realización del proyecto se estará de acuerdo en todo momento con el "Reglamento de Seguridad e Higiene en el Trabajo" y, en general, con todas aquellas normas y ordenanzas encaminadas a proporcionar el más alto grado de seguridad, tanto al personal, como al público en general.

El contratista efectuará a su cargo el plan de seguridad y el seguimiento correspondiente a sus trabajos, presentando dicho plan por escrito a la dirección del proyecto, teniendo validez solo una vez mostrada conformidad por parte de la misma. Este plan de seguridad solo tendrá validez una vez aprobado por la dirección del proyecto. En cualquier caso, queda enterado el contratista, por este pliego de condiciones, que es de su total responsabilidad vigilar y controlar que se cumplen todas las medidas de seguridad descritas en el plan de seguridad, así como las normas relativas a montajes y otras indicadas en este apartado.

Todos los equipos y aparatos eléctricos usados temporalmente durante la materialización y uso del proyecto, serán instalados y mantenidos de una manera eficaz y segura e incluirán su correspondiente conexión de puesta a tierra. Las conexiones eléctricas se harán con la fuente desconectada siempre que sea posible, y queda prohibida la conexión con bornes desnudos.

6. PRESUPUESTO

6.1. Presupuesto general

El siguiente presupuesto está realizado para una instalación de 16 nodos sensores, 3 routers y un nodo coordinador.

Los nodos difieren en el software principalmente, por lo que todos los nodos se pueden agrupar en un único concepto: “Nodo de Red”

6.1.1. Desglose de un nodo de red:

Cant	Und	Descripción	Precio/und	Precio Total
1	horas	Ingeniero (ensamblaje)	30,00 €	30,00 €
1	und	Batería Ultrafire BRC18650	6,80 €	6,80 €
1	und	20x Pines thru-hole	2,20 €	2,20 €
1	und	Caja estanca IP66 para los nodos	7,00 €	7,00 €
1	und	Panel solar 5Wp 12V	17,50€	17,50 €
1	und	Resistencias (pack)	0,50 €	0,50 €
1	und	MCP1702 Regulador de tensión	1,50 €	1,50 €
1	und	OKI78SR	4,50 €	4,50 €
1	und	Portabaterías Keystone Electronics 1044	2,20 €	2,20 €
1	und	XBee S2 Series	16,00 €	16,00 €
1	und	N-Channel Mosfet	1,80 €	1,80 €
1	und	Kit diseño PCB	2,50€	2,50 €

Total	92,50 €
--------------	----------------

El presupuesto que se detalla a continuación es el presupuesto para la instalación de una red de sensores con 16 nodos en disposición de matriz 4x4, con 3 routers y un coordinador. Con

instalación prevista en la planta solar fotovoltaica de San José del Valle (Cádiz). Para mayor detalle del emplazamiento se recomienda ver los planos de situación y emplazamiento.

Cant	Und	Descripción	Precio/und	Precio Total
90	horas	Ingeniero (Desarrollo e Instalación)	30,00 €	2700,00 €
20	und	Nodos de red	92,50 €	1850,00 €
10	horas	Ingeniero (Instalación)	30,00 €	300,00 €

Total	4.850,00 €
--------------	-------------------

El presupuesto es válido hasta 6 meses a partir de la fecha de hoy, 17 de septiembre de 2018.

Firma:

Contratista

Cliente